



**Miguel Ângelo
Saraiva da Costa**

Processos de Demolição de Estruturas



**Miguel Ângelo
Saraiva da Costa**

Processos de Demolição de Estruturas

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Dr. Miguel Morais, Professor Auxiliar e do Dr. Paulo Cachim, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Em memória da minha avó

o júri

presidente

Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa

Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Jorge Manuel Calço Lopes de Brito

Professor Catedrático do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa

Prof. Doutor Miguel Nuno Lobato de Sousa Monteiro de Moraes

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim

Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Este trabalho só seria possível graças ao apoio e colaboração de pessoas, que de forma directa ou indirecta ajudaram na elaboração desta dissertação.

Gostaria de começar por expressar o meu profundo agradecimento aos Professores Miguel Moraes e Paulo Cachim, meus orientadores neste trabalho, pela orientação, dedicação e confiança prestada, assim como de todos os ensinamentos transmitidos durante todo o curso.

Ao Sr. Mário Soares da Demolidora Penafidelenense pela ajuda prestada, pela sua experiência e conhecimentos transmitidos e pela companhia nas Jornadas sobre demolição em Salamanca.

Ao Capitão Gabriel Gomes, pela disponibilidade em ajudar e pelo conhecimento transmitido principalmente sobre demolições pelo uso controlado de explosivos.

Ao Eng.º Adriano Cruz da Pontave por proporcionar a possibilidade de acompanhar a obra de demolição da passagem superior sobre a A25 em Angeja.

À Eng.ª Elsa Neto, pelo apoio e pela ajuda prestada durante o curso desta dissertação.

Ao Ivo Gonzaga da Costa Almeida Demolições, pela disponibilidade em acompanhar-me nas visitas às obras de demolição em Vila do Conde e em Valongo.

A todos os meus amigos pelo apoio demonstrado nos momentos menos bons e, principalmente, pelos momentos de alegria e de boa disposição passados na companhia deles durante o meu percurso académico.

À minha família, em especial aos meus pais, que proporcionaram todas as condições para que pudesse concretizar os meus objectivos.

A todos o meu muito Obrigado!

palavras-chave

demolição de estruturas, processos de demolição, projecto de demolição, desconstrução

resumo

Nos últimos anos, o sector da demolição de estruturas tem vindo a sofrer um desenvolvimento acentuado assim como o número de obras de demolição que tem vindo a aumentar. A importância desta actividade é tal, que a sua execução terá de ser efectuada por especialistas nesta área. Uma obra de demolição tem de ser considerada como uma obra de construção, isto é, a demolição deverá ser planeada, projectada, dimensionada e executada por entidades competentes para o efeito. De modo a executar todos os trabalhos com segurança e eficiência, o sector da demolição de estruturas têm conhecido um forte desenvolvimento de vários processos de demolição. O planeamento da gestão dos resíduos resultantes da demolição é tema relevante para a protecção do meio ambiente e para a construção sustentável. Neste estudo é analisada uma proposta para a elaboração de um projecto de demolição no âmbito da construção sustentável. São também analisados todos os processos e métodos de demolição utilizados no sector, assim como a sua adequabilidade e aplicabilidade nos demais variados trabalhos. De modo a compreender melhor a aplicação dos processos e métodos existentes na demolição de estruturas, apresenta-se uma análise efectuada a um acompanhamento de uma demolição de um viaduto em betão armado e pré-esforçado na região de Aveiro. No decorrer deste trabalho elaborou-se, também, umas fichas de custos e rendimentos para alguns dos métodos mais utilizados pelos profissionais de demolição em Portugal. Todos os valores e dados necessários para a elaboração das fichas de custos e rendimentos foram adquiridos através do contacto com profissionais do sector da demolição em Portugal. Com a realização deste trabalho, evidenciou-se que a realização de um projecto de demolição bem detalhado e especificado aumenta os níveis de segurança e saúde para todos os intervenientes na obra de demolição.

keywords

demolition of structures, demolition processes, demolition project, deconstruction

abstract

In the last few years, the demolition field of structures has been increased technologically likewise the number of demolition works. The importance of this activity is such that its implementation will be carried out by demolition specialists in this area. A demolition work must be considered as a construction work, that is, the demolition must be planned, designed, projected and implemented by competent entities for the purpose. In order to perform all safely and efficiently work, the demolition industry of structures have experienced a strong development of various demolition processes. The demolition waste management planning is a significant issue for the environment protection and sustainable construction.

In this study, it's analyzed a proposal for the demolition project preparation in the sustainable construction context. It's also reviewed all processes and demolition methods used in the demolition industry, as well as their suitability and applicability in various demolition works.

In objective to better understand the demolition procedures and methods applications in the demolition of existing structures, it presents an analysis of a demolition monitoring. This monitoring was done in a viaduct demolition in Aveiro. This viaduct was composed by prestressed and reinforced concrete. In the course of this study it was drawn up, too, a demolition costs sheets for some demolition methods used by professional demolition companies in Portugal. All values and data necessary for the development of these sheets were acquired through of contact with demolition professionals in Portugal. With this work, it became clear that the establishment of a very detailed and specified demolition project increases the safety and health levels for all those involved in demolition works.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABELAS	IX
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Evolução histórica do sector da demolição	1
1.2 Panorama actual da demolição de estruturas em Portugal	3
1.3 Objectivo	8
1.4 Motivação	8
1.5 Estrutura da Dissertação	8
CAPÍTULO 2. O PROJECTO DE DEMOLIÇÃO	11
2.1 Preâmbulo	11
2.2 Considerações prévias a tomar num projecto de demolição	11
2.3 Selecção do método de demolição	13
2.4 Elaboração do projecto de demolição	15
2.5 Resumo	22
CAPÍTULO 3. PROCESSOS DE DEMOLIÇÃO	27
3.1 Preâmbulo	27
3.2 Processos Mecânicos	28
3.2.1 Campo de aplicação	29
3.2.2 Equipamentos base de suporte a acessórios de demolição	30
3.2.3 Demolição por empurre ou tracção	36
3.2.4 Demolição por fragmentação	38
3.2.4.1 Martelos manuais	39

3.2.4.2 Martelos hidráulicos de demolição.....	42
3.2.4.3 Martelo pilão.....	45
3.2.4.4 Bola de grande massa.....	46
3.2.4.5 Tesouras hidráulicas para betão	47
3.2.4.6 Tesouras mecânicas para betão.....	50
3.2.4.7 Tesoura de corte para aço	51
3.2.4.8 Tesoura combinada para betão e aço e Multi-processador.....	52
3.2.4.9 Pinças hidráulicas	53
3.2.4.10 Mandíbulas de demolição	55
3.2.5 Demolição por rebentamento interior	56
3.3 Processos Térmicos.....	59
3.3.1 Maçarico	59
3.3.2 Corte com Plasma	61
3.3.3 Lança térmica.....	63
3.3.4 Corte a laser.....	64
3.3.5 Aquecimento das Armaduras	67
3.3.5.1 Aquecimento induzido das armaduras	68
3.3.6 Aplicação de um arco voltaico.....	69
3.3.7 Aplicação de microondas	69
3.4 Processos Abrasivos.....	70
3.4.1 Corte diamantado	71
3.4.1.1 Disco diamantado.....	71
3.4.1.2 Fio diamantado	75
3.4.1.3 Carotagem	77
3.4.1.4 Serra diamantada	80

3.4.1.5 Corte com discos de carborundo.....	81
3.4.2 Hidrodemolição	82
3.4.2.1 Corte com jacto de água	86
3.5 Uso controlado de explosivos.....	87
3.5.1 Mecanismos de colapso.....	89
3.5.1.1 Mecanismo do tipo implosão.....	90
3.5.1.2 Mecanismo do tipo telescópio	90
3.5.1.3 Mecanismo do tipo derrube	91
3.5.1.4 Mecanismo do tipo colapso progressivo	91
3.5.2 Metodologia de aplicação.....	92
3.5.3 Micro-explosão.....	93
3.5.4 Obras de demolição com recurso a explosivos realizadas em Portugal ...	95
3.6 Processos Eléctricos	96
3.6.1 Aplicação de materiais <i>Shape Memory Alloys</i> (SMA).....	97
3.6.2 Aquecimento induzido de um material ferromagnético.....	97
3.6.3 Sistema electro-hidráulico	98
3.7 Processos Químicos.....	98
3.7.1 Expansão de gás	99
3.7.2 Expansão de cal viva	99
3.7.3 Expansão química de agentes demolidores	100
3.8 Outros processos.....	102
CAPÍTULO 4. DEMOLIÇÃO TOTAL DE UMA PASSAGEM SUPERIOR SOBRE UMA AUTO-ESTRADA.....	103
4.1 Preâmbulo.....	103
4.2 Estudo da estrutura a demolir	103
4.3 Equipamentos de trabalho utilizados	105

4.4 Preparação para trabalhos de demolição	106
4.4.1 Procedimentos de segurança	107
4.5 Trabalhos de demolição mecânica	108
4.6 Conclusões.....	113
CAPÍTULO 5. FICHAS DE CUSTOS E RENDIMENTOS.....	117
5.1 Preâmbulo	117
5.2 Aquisição de dados para elaboração das fichas.....	118
5.3 Caracterização das fichas de custos e rendimentos.....	119
CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES GERAIS.....	125
6.1 Desenvolvimentos futuros	128
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
ANEXOS	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Licenças emitidas por tipo de obra em Portugal Continental anualmente (INE - Inquérito aos Projectos de Obras de Edificação e de Demolição de Edifícios)	4
Figura 2. Licenças emitidas para construções novas em Portugal Continental anualmente (INE - Inquérito aos Projectos de Obras de Edificação e de Demolição de Edifícios)	6
Figura 3. Número de obras de demolição concluídas em Portugal Continental anualmente (INE - Inquérito aos Projectos de Obras de Edificação e de Demolição de Edifícios)	7
Figura 4. Demolição das torres de Tróia – Setúbal.....	7
Figura 5. Processo de decisão em demolição de edifício. Adaptado (Liu <i>et al.</i> , 2005)	23
Figura 6. Fluxograma de procedimentos na elaboração de uma obra de demolição.....	25
Figura 7. Escavadora hidráulica de rastos com lança de demolição e respectivo acessório (Komatsu, 2009).....	31
Figura 8. Mini-escavadora hidráulica de rastos	32
Figura 9. Conjunto Industrial – Retroescavadora (Komatsu, 2009)	33
Figura 10. Demolição aérea com grua (Atlas Copco, 2006b).....	34
Figura 11. Equipamento de demolição por controlo remoto (Brokk, 2008b): a) com martelo hidráulico acoplado; b) controlo remoto.....	35
Figura 12. Conjunto de tesouras de demolição e unidade hidráulica (Darda, 2008a).....	35
Figura 13. Demolição por empurre (Alonso, 2009).....	36
Figura 14. Demolição por tracção de cabos.....	37
Figura 15. Martelos manuais: a) Martelo eléctrico (DeWalt, 2007); b) Martelo eléctrico em obra (Anka, 2009)	39
Figura 16. Equipamento de ar comprimido (Atlas Copco, 2006b): a) Compressor de ar portátil; b) Martelo manual pneumático em funcionamento	40
Figura 17. Equipamento hidráulico (Atlas Copco, 2006b): a) Grupo hidráulico; b) Martelo hidráulico em funcionamento	41
Figura 18. Martelo manual a gasolina (Atlas Copco, 2007)	42
Figura 19. Martelo hidráulico de demolição	43

Figura 20. Demolição com martelo hidráulico: a) modo incorrecto de funcionamento; b) modo correcto de funcionamento	43
Figura 21. Martelo hidráulico Indeco HP 12000 (Indeco, 2008).....	45
Figura 22. Martelo pilão acoplado a um Bobcat (Bobcat, 2007).....	46
Figura 23. Demolição com bola de grande massa (Alonso, 2009).....	47
Figura 24. Tesoura hidráulica para betão: a) tesoura de corte de betão; b) pulverizador de betão.....	48
Figura 25. Demolição primária com tesoura de corte (Alonso, 2009).....	48
Figura 26. Pulverizadores: a) ambas as maxilas móveis; b) uma maxila móvel e a outra fixa.	49
Figura 27. Dispositivo de corte de aço em pulverizador de maxilas móveis.....	50
Figura 28. Tesoura mecânica	51
Figura 29. Tesoura de corte para aço (Alonso, 2009): a) pormenor das maxilas da tesoura; b) demolição de uma estrutura metálica	52
Figura 30. Multi-processador (STET, 2004): a) com maxilas de esmagamento; b) com maxilas de corte de reservatórios em aço.....	53
Figura 31. Pinça hidráulica utilizada em demolição de edifícios.	54
Figura 32. Dispositivo de esmagamento (Tyrolit, 2009): a) Mandíbulas de demolição; b) Mandíbulas em demolição de muro de betão armado.....	55
Figura 33. Fases do processo por acção de uma cunha hidráulica (Darda, 2008b): 1) introdução do dispositivo no buraco; 2) accionamento do dispositivo e início da rotura; 3) finalização do processo.....	57
Figura 34. Macaco hidráulico: a) pistões; b) Macaco hidráulico a fragmentar laje de betão	58
Figura 35. Maçarico oxicorte: a) botija pequena de gás propano e botija grande de oxigénio; b) dispositivo que realiza a mistura dos dois gases e bico	60
Figura 36. Esquema do processo de corte por tecnologia plasma (Nutsch <i>et al.</i> , 1999) ...	62
Figura 37. Lança térmica (Santamaria, 2009a): a) interior da lança; b) lança em combustão	64

Figura 38. Elementos de laje de betão submetidos a corte com laser (Crouse <i>et al.</i> , 2004): a) laser CO2 e 94 passagens; b) laser de díodo e 74 passagens.....	66
Figura 39. Relação entre o número de passagens e a profundidade de corte. Adaptado (Crouse <i>et al.</i> , 2004).....	66
Figura 40. Aquecimento induzido das armaduras de reforço (Lauritzen, 1994)	68
Figura 41. Dispositivo de Microondas (Jerby, Dikhtyar, 2001): a) Equipamento de microondas; b) Perfuração efectuada por microondas num elemento de betão	70
Figura 42. Composição de um disco de corte diamantado. Adaptado (Fernandez, 2009) .	73
Figura 43. Parte diamantada de um disco (Fernandez, 2009): a) grãos de diamante; b) camadas de diamante	74
Figura 44. Equipamentos de corte com disco (Tyrolit, 2008): a) disco de pavimento; b) disco de parede.....	74
Figura 45. Equipamento portátil de corte com disco diamantado (Husqvarna, 2009).....	75
Figura 46. Equipamento de corte com fio diamantado: a) Fio diamantado (Rule <i>et al.</i> , 2003); b) Corte de muro com fio diamantado (Santamaria, 2009b).....	76
Figura 47. Aplicação da carotagem na realização de aberturas em elementos de betão armado	78
Figura 48. Caroteadoras (Husqvarna, 2009): a) caroteadora portátil; b) caroteadora sob suporte guia.....	78
Figura 49. Esquema de uma caroteadora. Adaptado (Velasco, 2009)	79
Figura 50. Segmentos diamantados (Husqvarna, 2009).....	80
Figura 51. Equipamento de corte com serra diamantada (Tyrolit, 2008)	81
Figura 52. Disco de corte de carborundo.....	82
Figura 53. Hidrodemolição (Díaz, 2009): a) método manual; b) método robotizado.....	83
Figura 54. Robot de hidrodemolição Conjet 364 (Anzeve, 2009)	84
Figura 55. Comparação de resultados finais (Díaz, 2009): a) com martelo; b) com hidrodemolição.....	85
Figura 56. Dispositivo de corte com jacto de água (Momber, 2000).....	86
Figura 57. Preparação da demolição por explosivos com equipamentos mecânicos (Sánchez, 2009).....	87

Figura 58. Demolição por tipo implosão	90
Figura 59. Demolição do tipo derrube	91
Figura 60. Demolição por tipo colapso progressivo.....	92
Figura 61. Esquema de aplicação de dispositivo de micro-explosão numa laje de betão. Adaptado de (Ezebreak, 2008).....	94
Figura 62. Dispositivo de accionamento dos cartuchos explosivos (Ezebreak, 2008).....	94
Figura 63. Demolição das torres de Tróia.....	95
Figura 64. Demolição de um dos silos da Secil	96
Figura 65. Aplicação de mistura de agente expansivo (Bustar, 2008)	101
Figura 66. Agente expansivo em maciço de betão armado	101
Figura 67. Passagem superior sobre a A25 em Angeja	104
Figura 68. Corte longitudinal da passagem superior	104
Figura 69. Corte transversal da passagem superior.....	104
Figura 70. Trabalhos prévios da demolição: a) retirada dos guarda-corpos; b) preparação da camada de protecção do piso da estrada.....	107
Figura 71. Aspecto do lado Este da passagem superior durante a primeira fase de demolição.....	108
Figura 72. Demolição da aba do tabuleiro	109
Figura 73. Corte do nervo central: a) vista ao nível da parte superior do tabuleiro; b) equipamentos utilizados.....	109
Figura 74. Corte dos cabos de pré-esforço.....	110
Figura 75. Corte dos cabos de pré-esforço com tesoura de corte de aço	111
Figura 76. Escavadora com martelo de demolição	112
Figura 77. Demolição do tramo norte: a) escavadora com martelo; b) derrocada do tramo provocada pelo peso próprio da escavadora	113
Figura 78. Aspecto do resultado da demolição na reabertura do tráfego na auto-estrada	114
Figura 79. Nova passagem superior e local da antiga passagem superior	115

Índice de Tabelas

Tabela 1. Dimensões dos segmentos diamantados nas brocas (Fueyo, 2003)	79
Tabela 2. Dados técnicos de serra diamantada Tyrolit CSH 40 (Tyrolit, 2008).....	81
Tabela 3. Dados técnicos de robot de demolição Conjet 364 (Anzeve, 2009)	84
Tabela 4. Exemplo de ficha de custo e rendimento para demolição de parede de alvenaria de tijolo	122

Capítulo 1. Introdução

1.1 Evolução histórica do sector da demolição

O sector da demolição de estruturas e da reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) tem vindo a sofrer uma profunda evolução ao longo dos últimos anos. Esta evolução começou quando surgiu a necessidade de proteger o planeta contra materiais perigosos e cancerígenos, e também com o aparecimento da ideologia da sustentabilidade das construções. A construção sustentável defende a protecção do meio ambiente e a reutilização dos materiais provenientes da demolição de estruturas.

Entende-se por demolição de edifícios o acto de limpar o terreno para dar lugar a novas construções. Esta definição pode levar a pensar que o sector da demolição é uma área pouco divulgada, mas acompanha o ser humano desde a sua origem. Os nossos antepassados necessitavam de demolir rochas e outros elementos naturais para construírem os seus acampamentos, sendo que estas actividades podem considerar-se os primeiros registos de demolição na história (Medina, 2007).

A imagem que a sociedade civil possui do sector da demolição de edifícios para a sociedade civil poderá ser negativa, no entanto, uma demolição pode acontecer devido à necessidade de se realizar uma nova construção substituindo uma já existente, ou como consequência de um acidente ou catástrofe natural que cause danos irreparáveis na estrutura. Por outro lado, o sector da demolição de edifícios é visto na sociedade, como uma actividade simples e sem dificuldade, onde apenas se realiza golpes com máquinas de grande porte até derrubar o edifício ou estrutura. No entanto, uma demolição é uma actividade de construção que tal como outras, deve ser executada por entidades competentes e com experiência neste sector para que o resultado final seja o pretendido dentro dos parâmetros de segurança desejados.

As máquinas e equipamentos usados na execução de trabalhos de demolição também sofreram várias evoluções ao longo do tempo. Os equipamentos mais utilizados baseiam-se na utilização de força hidráulica capaz de superar a resistência dos materiais

que compõem os edifícios e deste modo destruí-los. Por exemplo, as escavadoras hidráulicas, que são muito utilizadas no sector da demolição, evoluíram a partir de máquinas que inicialmente eram comercializadas para a agricultura e que por sua vez evoluíram para máquinas de movimentação de terras e, posteriormente, foram adaptadas para máquinas de demolição de estruturas.

Alguns dos equipamentos mais rudimentares utilizados na demolição, como a marreta ou a picareta, também evoluíram para martelos manuais automáticos, sendo posteriormente adaptados a equipamentos de grande porte como as escavadoras hidráulicas. Por outro lado, estas evoluções iam-se dando de acordo com as exigências que os materiais constituintes dos edifícios impunham. Assim, com a necessidade de demolir o betão armado, surgiu a possibilidade de acoplar acessórios a escavadoras hidráulicas, aparecendo no sector de demolições novas ferramentas como as tesouras de corte para betão ou tesouras de corte para elementos metálicos. Estes acessórios vieram substituir o tradicional balde, que normalmente era utilizado nas escavadoras. Todas estas evoluções efectuadas tanto nos acessórios como nas máquinas às quais eles estão acoplados foram realizadas no sentido de aumentar os níveis de segurança e o rendimento das operações (Fueyo, 2003).

Ao longo do tempo, a construção de edifícios e de estruturas foi evoluindo, efectuando-se alterações tanto ao nível dos materiais utilizados, como dos processos construtivos utilizados. Esta evolução verificou-se como consequência do objectivo que se pretendia alcançar, da capacidade económica e também da disponibilidade tecnológica existente no mercado. Em meados do século passado não era possível utilizar técnicas específicas de demolição. Quando se pretendia demolir um edifício, recorria-se a técnicas simples e rudimentares com pouca segurança e eficácia. No entanto, foi necessário desenvolver técnicas e processos capazes de superar as resistências dos materiais. A construção de edifícios com elevada esbelteza ou de estruturas fortemente armadas e reforçadas foram factores que motivaram o desenvolvimento de novas técnicas de demolição e, consequentemente, de novos equipamentos.

O recurso a cargas explosivas para realizar a demolição de estruturas é uma técnica algo recente, e que tem sofrido evoluções tanto ao nível do tipo de explosivos como no

modo de aplicação das cargas explosivas. É uma técnica que apresenta como principais vantagens a sua segurança, se executada por entidades experientes, a redução de custo da demolição e uma redução de impactos ambientais provocados pela demolição de uma estrutura (Gomes, 2000).

Os factores mais prováveis que provocam a necessidade de recorrer à demolição podem ser a demolição de estruturas ou edifícios obsoletos que apresentam uma elevada taxa de degradação e perigo de colapso e a demolição de construções inacabadas, quer por questões legais, financeiras ou erros de projecto.

1.2 Panorama actual da demolição de estruturas em Portugal

Em Portugal tem-se assistido a uma renovação contínua dos centros urbanos em consequência do aumento da densidade populacional reaproveitando melhor o solo, sendo demolidas as edificações mais antigas que são substituídas por novas e modernas construções. Outro aspecto é o factor tecnológico e de conforto, também responsável por uma remodelação do parque habitacional dos grandes centros urbanos, havendo a necessidade de se efectuar demolições parciais para, por exemplo, aumentar a eficiência energética de um edifício. A forte degradação física a que os edifícios dos centros urbanos estão sujeitos provocada, por exemplo, pelos agentes químicos presentes no ar, é um aspecto que pode promover a demolição parcial para reconstrução.

Tem-se também assistido em Portugal a um grande número de demolições de antigas fábricas, que contêm materiais perigosos na sua composição, sendo o amianto o material predominante na composição das chapas de fibrocimento usadas nas coberturas.

Para retratar a evolução do sector das demolições ocorridas em Portugal, efectuou-se uma consulta ao Instituto Nacional de Estatística (INE), e registou-se o número de licenças de construção e demolição, passadas pelas Câmaras Municipais.

O gráfico a seguir representado na Figura 1 demonstra a evolução do número de licenças emitidas pelas Câmaras Municipais (CM) para obras de ampliação, alteração, reconstrução e demolição de acordo com o Instituto Nacional de Estatística (INE).

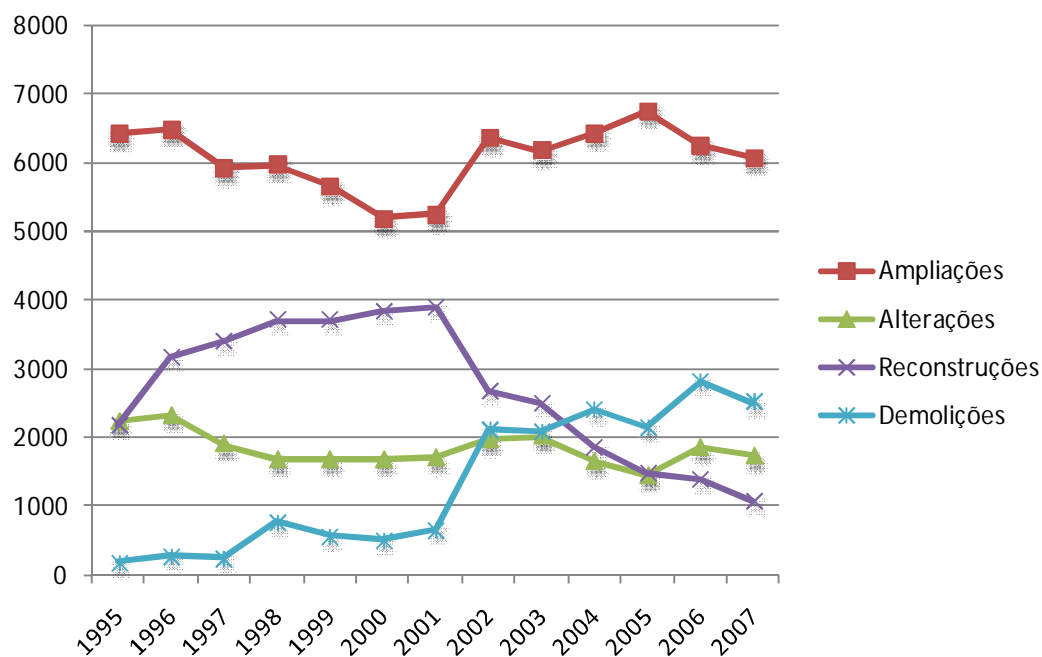


Figura 1. Licenças emitidas por tipo de obra em Portugal Continental anualmente (INE - Inquérito aos Projectos de Obras de Edificação e de Demolição de Edifícios)

Neste gráfico pode-se observar os diferentes tipos de obras licenciadas pelas CM em Portugal Continental entre o ano de 1995 e o ano de 2007 de acordo com o INE. Na designação dos vários tipos de obra referidos, o INE estabelece vários conceitos, ou seja, uma obra de ampliação corresponde a uma obra em que resulta um aumento de área de pavimento ou de implantação, da cércea ou do volume de edificação, uma obra de alteração corresponde a uma obra em que resulta alterações das características físicas do edifício, uma obra de reconstrução corresponde a uma obra de construção subsequente a obras de demolição parciais e uma obra de demolição é uma obra de destruição total ou parcial de um edifício.

De acordo com a Figura 1, o número de licenças emitidas para obras de demolição aumentou nos últimos anos. Entre o ano de 2001 e o ano de 2002, surge um aumento significativo de licenças emitidas. Este facto acontece talvez fruto de uma reclassificação por parte do INE dos tipos de obras licenciadas ou pela falta de pedidos de licenciamento de obras de demolição que aconteceria até então, normalmente, em zonas não urbanas (Lourenço, 2007). A requalificação urbana processada no âmbito da realização do

Euro'2004 em Portugal é um factor que inflacionou os pedidos de licenças de obras de demolição a partir de 2001.

Pode-se observar que as obras de ampliações de edifícios ocorrem em maior número em comparação com as restantes obras. No entanto, a partir de 2001 verifica-se um decréscimo das obras de reconstrução e um aumento das obras de demolição. Pode parecer estranho acontecer esta situação, pois os conceitos do INE dizem que uma reconstrução é uma obra de construção subsequente a uma obra de demolição parcial, mas não é possível saber se essas obras de demolição parciais são contabilizadas para as obras de demolição. Contudo, isto leva a que se possa concluir que houve um desinteresse por parte dos proprietários pela reconstrução, nomeadamente em centros urbanos, optando-se pela demolição total, e posteriormente, a construção de novos edifícios. As obras em que se procede à alteração das características físicas dos edifícios não sofreram grandes alterações ao nível do número de licenças emitidas pelas CM, mantendo-se aproximadamente constantes ao longo do tempo como se pode observar na Figura 1.

De acordo com o gráfico da Figura 2 pode-se observar que a partir do ano de 1999 começou a ocorrer um decréscimo aproximadamente constante do número de licenças emitidas pelas CM para novas construções. Assim, com o número de construções novas a diminuir de uma forma mais ou menos constante, pode-se concluir que sectores como o da reabilitação terão de crescer. Este decréscimo de novas construções a partir de 1999 associado ao aumento do número de obras de demolição (totais ou parciais) a partir de 2001 implica que o mercado da construção civil começa a preferir reconstruir ou modificar as construções já existentes no parque habitacional português em vez da construção de novas edificações.

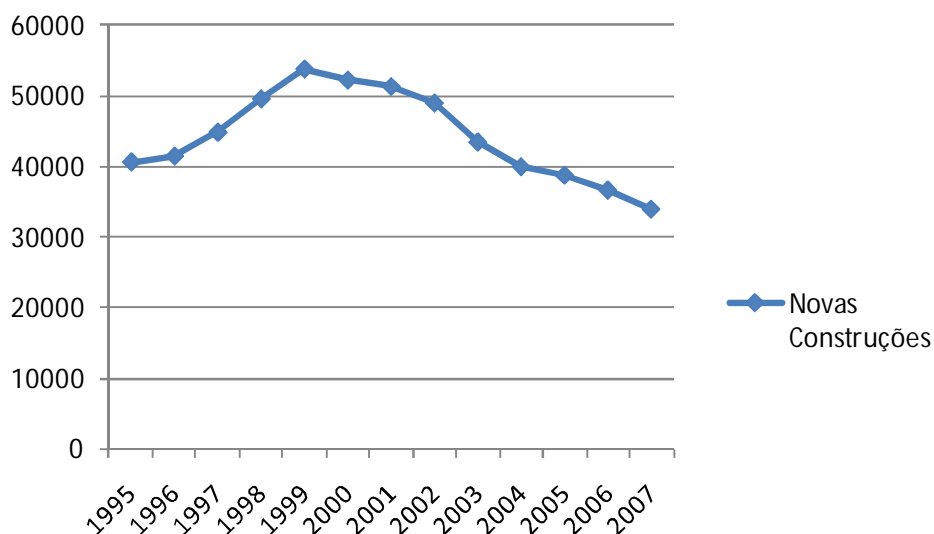


Figura 2. Licenças emitidas para construções novas em Portugal Continental anualmente (INE - Inquérito aos Projectos de Obras de Edificação e de Demolição de Edifícios)

A análise à Figura 3 evidencia um pico de número de obras de demolição concluídas no ano de 1997, isto devido às obras realizadas no âmbito da Expo'98 em Lisboa, e a partir de 2002 dá-se um forte crescimento da actividade de demolição. O forte degrau que se verifica do ano de 2002 para o ano de 2003 no número de obras de demolição dá-se muito em causa pelas demolições efectuadas para a realização do Euro'2004 em Portugal, tanto para a construção de novos estádios como para a construção de novos acessos às principais cidades que acolheram este evento. Por outro lado, verifica-se que após o ano de 2004, esse número continua a aumentar, sofrendo um ligeiro decréscimo em 2007. Esta tendência demonstra, mais uma vez, o crescimento que sector da demolição em Portugal tem vindo a apresentar.

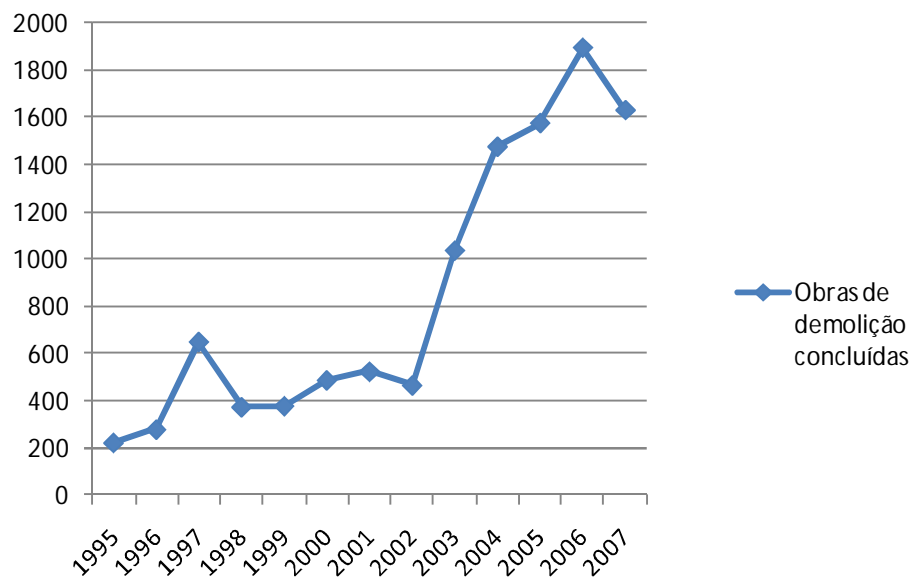


Figura 3. Número de obras de demolição concluídas em Portugal Continental anualmente (INE - Inquérito aos Projectos de Obras de Edificação e de Demolição de Edifícios)

Em Portugal já foram realizadas obras de demolição de grande envergadura, como a demolição das torres de Tróia – Setúbal em 2005 (Figura 4), que recorreu ao uso de cargas explosivas para provocar a implosão e consequente derrube. Existem em Portugal poucos casos de demolição de estruturas pelo uso controlado de explosivos, embora esta técnica seja uma alternativa às outras técnicas existentes (Gomes, 2000). O hotel Atlantis na Madeira foi outro caso de demolição pelo uso controlado de explosivos no ano de 2000. Outra obra de demolição com alguma complexidade, embora tenha sido realizada com recurso a meios mecânicos, foi a demolição do Hotel Estoril Sol em Cascais no ano de 2007.



Figura 4. Demolição das torres de Tróia – Setúbal

1.3 Objectivo

A presente dissertação tem como objectivo aprofundar o conhecimento acerca dos vários processos de demolição de estruturas existentes no sector, assim como demonstrar a forma correcta de elaborar um bom projecto de demolição para que a sua execução em obra seja realizada da melhor forma possível.

1.4 Motivação

A demolição de edifícios é um tema bastante vasto em técnicas e processos, pelo que se torna necessário estar actualizado acerca das técnicas e métodos que mais se adequam para a demolição de um determinado edifício ou estrutura. O facto de não existir um documento normativo para o sector da demolição de estruturas em Portugal, ao contrário do que acontece em vários países como a Grã-Bretanha, a Alemanha, os Estados Unidos, o Canadá ou o Japão, origina a motivação na realização desta dissertação, no objectivo de contribuir para a evolução deste sector em Portugal.

1.5 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos, sendo que neste primeiro capítulo é realizada uma introdução ao tema em estudo e apresentado, sucintamente, a motivação e o objectivo da realização desta dissertação. É também apresentado o estado actual do sector da demolição de estruturas em Portugal, assim como a sua evolução ao longo do tempo.

No capítulo 2 é efectuada uma análise ao modo de elaboração de um projecto de demolição de acordo com normativas estrangeiras de conteúdo, exclusivamente, sobre regras e directrizes para a elaboração e execução de um projecto de demolição. É também apresentado o modo de se proceder para a execução de um bom projecto de demolição.

No capítulo 3 é apresentado o resultado de uma pesquisa profunda aos variados métodos de demolição existentes, sendo posteriormente efectuada uma análise e uma

avaliação à aplicabilidade desses vários métodos. Neste capítulo são, também, analisados os prós e os contras de cada método de demolição de acordo com o trabalho a efectuar e o material a demolir.

No capítulo 4 é descrito o acompanhamento a uma obra de demolição de uma passagem superior sobre a A25 em Angeja, Aveiro. Desta forma, tentou-se compreender melhor a aplicação prática dos equipamentos mecânicos na demolição de um viaduto, assim como as medidas de segurança tomadas.

No capítulo 5 são elaboradas fichas de custos e rendimentos sobre actividades de demolição com dados obtidos nas empresas do ramo.

No capítulo 6 apresenta-se as principais conclusões da presente dissertação e são referidas algumas das possibilidades de desenvolvimento futuro.

Capítulo 2. O Projecto de Demolição

2.1 Preâmbulo

Neste capítulo irá abordar-se a fase que antecede a execução de uma demolição de uma estrutura, que é a realização do projecto de demolição. Existem trabalhos no sector da construção civil que são levados a cabo por empresas especializadas e competentes para o efeito e a demolição de estruturas é um desses trabalhos.

Em qualquer trabalho de construção deve existir um projecto que descreve de forma precisa o trabalho a realizar, as características dos materiais utilizados e a metodologia construtiva a seguir. No projecto de demolição existem especificações que devem ser cumpridas, mas a falta delas ou o não cumprimento das mesmas são motivos suficientes para provocar conversações e preocupações entre empreiteiros e subempreiteiros. Através do contacto com várias empresas de demolição verificou-se que, habitualmente, o projecto de demolição difere bastante do realizado em obra devido ao facto deste ser mal executado ou escasso em informações.

Para se proceder à demolição de uma estrutura é necessário efectuar o pedido de licença de demolição nos serviços das Câmaras Municipais. Destas licenças emitidas pelas Câmaras Municipais, muito poucas são as que possuem um projecto de demolição associado. Por exemplo, a Câmara Municipal de Aveiro para emitir uma licença de demolição exige apenas do dono de obra a apólice de seguro contra acidentes de trabalho, o alvará da empresa de demolição que certifica a capacidade da empresa para efectuar obras de demolição, o livro de obra, o termo de responsabilidade pela direcção de obra e o plano de segurança e saúde.

2.2 Considerações prévias a tomar num projecto de demolição

Em Portugal não existe nenhuma norma que especifique a constituição de um projecto de demolição. A Grã-Bretanha possui a "*British Standard*", BS 6187 com um

código de práticas para demolição de estruturas onde é possível identificar as considerações a tomar para a elaboração de um projecto de demolição.

Assim, e de acordo a norma britânica (BS 6187, 2000) devem ser efectuadas as seguintes considerações antes da elaboração do projecto de demolição:

- a.** Deve ser efectuado um reconhecimento do local de obra e da estrutura a demolir de modo a avaliar os serviços a serem desactivados (água, electricidade, gás, telefone, etc.) e os procedimentos de isolamento do local de obra assim como isolamento e protecção das estruturas vizinhas.
- b.** É necessário elaborar um conjunto de requisitos legais, tais como permissões da polícia ou autoridades locais para a eventualidade de encerramento de vias de comunicação ou licenças emitidas para realização de ruídos, vibrações ou poeiras e para a gestão dos resíduos de demolição.
- c.** Para a realização de um programa de demolição deve ser descrito a sequência e o método de demolição proposto, assim como as características e localização dos equipamentos utilizados na demolição. Deve ser considerado um mapa de estradas da zona onde se localiza a estrutura a demolir e também o tratamento que se irá dar aos resíduos de demolição originados. A norma propõe também a realização de um programa detalhado da sequência de trabalhos durante a demolição.
- d.** Outro ponto a considerar no planeamento de uma obra de demolição é a instalação de medidas de protecção do público como a colocação de barreiras de segurança, o controlo do público, execução de zonas de segurança a partir do estaleiro de obra durante a execução de trabalhos e a contenção dos materiais provenientes da demolição.
- e.** Devem ser projectadas e tomadas medidas de estabilidade da estrutura de modo a evitar o colapso prematuro e não planeado da mesma. O prévio enfraquecimento da estrutura assim como a colocação de estruturas temporárias de suporte devem ser projectados por um engenheiro competente e devem figurar no projecto de demolição.

- f. Os impactos ambientais provocados pela demolição como ruídos, vibrações ou poeiras devem ser alvo de uma avaliação antecipada e controlados se necessário através de medidas de controlo.
- g. A reutilização e a reciclagem dos resíduos devem ser consideradas de modo a diminuir o seu volume. Devem ser criadas zonas para depositar os materiais perigosos retirados da estrutura tais como óleos ou materiais que contenham amianto. A flora e a fauna local devem ser conservadas.
- h. A segurança e saúde dos trabalhadores em obra devem ser asseguradas através de uma avaliação dos perigos, riscos e substâncias perigosas presentes na estrutura a demolir. Estes aspectos devem ser considerados para a definição dos equipamentos de protecção individual e colectiva a aplicar na obra.
- i. As condições meteorológicas devem ser previstas e avaliadas de modo a evitar condições que não sejam propícias aos trabalhos de demolição e que prejudiquem o decurso dos trabalhos e do programa de demolição.

2.3 Selecção do método de demolição

A selecção do método de demolição a aplicar no derrube total ou parcial de uma estrutura pode depender de uma serie de factores e considerações que serão necessário analisar e avaliar. Não existem programas que auxiliem os engenheiros projectistas na selecção do método mais apropriado a utilizar na demolição da estrutura, sendo que é a fase mais crucial do processo de demolição. Assim, têm-se desenvolvido modelos de decisão por critérios na selecção do método de demolição (Abdullah, Anumba, 2002).

A selecção do método de demolição pode depender de uma série de factores e aspectos que influenciam a escolha. De acordo com Fueyo (2003) e com a AEDED (2008) esses factores são o tipo de estrutura e as características dos materiais constituintes (tipo, dureza, etc.), o estado da estrutura, o sistema construtivo, a altura e a área em planta da estrutura, o local onde está instalada a estrutura e o espaço disponível, o meio ambiente que a rodeia e as condições meteorológicas, o prazo de execução da demolição, a gestão dos resíduos resultantes, a relação da estrutura a demolir com estruturas vizinhas (influência de vibrações, possibilidade de uso de maquinaria especial, etc.),

razões do foro político e o orçamento disponível para a obra de demolição (Pun *et al.*, 2006). Contudo, pela experiência transmitida pelos profissionais de demolição durante a elaboração desta dissertação, estes factores são pouco utilizados na selecção do método de demolição sendo que o mais importante é o preço em função dos equipamentos disponíveis ao empreiteiro para a obra de demolição.

A fase que envolve a selecção do método de demolição a implementar numa estrutura deve ser elaborada de forma a eliminar ou minimizar os riscos de trabalho associados à demolição (BS 6187, 2000).

Como é possível verificar com maior ênfase no capítulo 3 desta dissertação, cada método de demolição possui as suas vantagens e os seus inconvenientes, não existem soluções perfeitas. Não é possível afirmar que um método é melhor que o outro, apenas cada um terá o seu campo de aplicação.

A selecção do método de demolição deveria ser o aspecto com maior importância no projecto de demolição, no entanto é habitual aparecer no projecto simplesmente que a estrutura deverá ser demolida de cima para baixo com recurso a meios mecânicos não mencionando os factores que condicionaram essa escolha. Consiste numa tarefa difícil, mas de forma a acelerar o processo pode-se eliminar os métodos que possuam uma aplicação inadequada. Dentro dos métodos com aplicabilidade selecciona-se o mais adequado ou no caso de se utilizar mais que um método selecciona-se o conjunto dos métodos que serão aplicados na demolição (Fueyo, 2003).

O autor de um projecto de demolição nunca recebe o mesmo prestígio que um autor de um projecto de construção. Quando o novo projecto é concluído é colocada uma placa de condecoração a recordar os projectistas, mas o autor do projecto de demolição raramente é recordado. É devido a esta falta de prestígio que os projectistas de obras de demolição não têm a mesma popularidade que os projectistas de obras de construção. No entanto, quando se executa a demolição de uma estrutura com recurso a cargas explosivas, o projectista da demolição sai com mais prestígio já que a demolição oferece um interesse e um espectáculo visual ao público. Recorde-se as demolições das torres de Tróia em Setúbal que tiveram uma audiência televisiva enorme durante a sua demolição.

2.4 Elaboração do projecto de demolição

De acordo com Liu *et al.* (2005) um projecto de demolição corresponde a um projecto independente que envolve o planeamento, o dimensionamento e a implementação dos processos de demolição. A fase de planeamento foca com maior ênfase os pedidos de permissões e licenças de demolição às autoridades locais e a realização de inspecções e avaliações à estrutura a demolir e às estruturas existentes na proximidade. A fase de dimensionamento foca os processos físicos das actividades de demolição e engloba a realização de plano de segurança e saúde e o dimensionamento de estruturas de suporte e de protecção. Na fase de implementação são definidas as técnicas de demolição e os princípios de gestão do projecto para a realização da demolição.

Cada projecto de demolição é único e diferente de todos os outros devido às características e condições impostas pelo local e pelo tipo de estrutura a demolir. Um dos objectivos da elaboração do projecto de demolição é estabelecer um conjunto de instruções e regras para a realização da demolição da estrutura com eficiência respeitando todos os procedimentos de segurança. Este documento deve ser escrito de forma clara e de fácil leitura para todos os trabalhadores pertencentes à obra, independentemente das suas habilitações literárias.

Um projecto de demolição deve ser acompanhado de uma planta de enquadramento da estrutura na zona envolvente de forma a analisar e avaliar a relação da mesma com o ambiente, com as estruturas adjacentes ou com as redes de tráfego. Posteriormente, de maneira a complementar melhor as informações acerca da estrutura deve ser realizado um estudo à mesma, determinando o método construtivo utilizado na sua concepção e os materiais utilizados na mesma. Uma pesquisa histórica da estrutura assim como a sua utilização ao longo dos anos deve ser feita. Do mesmo modo deve ser realizada uma inspecção à estabilidade das construções adjacentes e vizinhas à estrutura a demolir de forma a evitar que impactos, tais como as vibrações provocadas pela demolição, danifiquem essas mesmas construções. Após a inspecção à estrutura que será demolida, deve também ser prevista a remoção de elementos que possam perturbar o progresso da demolição, como tanques de água ou instalações de ar condicionado, antes do início dos trabalhos de demolição. Todos estes parâmetros devem ser documentados

com registos escritos e fotográficos, quer da estrutura a demolir quer das estruturas vizinhas e adjacentes, e devem constar como parte integrante do projecto de demolição.

Juntamente com o projecto de demolição devem seguir as plantas de arquitectura e plantas estruturais. Caso a estrutura possua elementos especiais como elementos pré-fabricados, pré-esforçados ou elementos metálicos, devem ser referidas essas particularidades no projecto de demolição.

Durante a demolição de uma estrutura esta pode apresentar elementos especiais, como elementos pré-fabricados, elementos pré-esforçados ou elementos suportados em consola. Estes elementos devem constar no documento elaborado após a inspecção prévia à estrutura a demolir. No entanto, pode suceder que certos elementos não sejam identificados aquando dessa inspecção, contudo se forem encontrados no decorrer dos trabalhos de demolição, deverão ser registados.

A inspecção realizada às estruturas a demolir deverá originar um relatório de estabilidade onde deverá constar todos os cálculos da estabilidade da estrutura, assim como o dimensionamento dos suportes temporários caso sejam aplicados. Também no caso de a demolição da estrutura ser piso a piso e envolver a movimentação de escavadoras hidráulicas nos pisos, deverá ser realizado um estudo da estabilidade dos pisos solicitados pelas cargas provocadas pelas escavadoras.

A elaboração de um plano de gestão dos resíduos de demolição deverá ser efectuada de acordo com o Decreto-Lei Nº 46 de 2008 – Gestão de Resíduos de Construção e Demolição. Recentemente foi realizado um estudo ao modo de gestão dos resíduos de demolição num projecto de demolição (*Liu et al.*, 2005). Estes autores analisaram o procedimento convencional da demolição de um edifício dando maior ênfase ao planeamento da gestão dos resíduos de demolição. Após a análise do procedimento convencional de um projecto de demolição, concluem que a classificação e a selecção dos resíduos de demolição são um processo que consome mais tempo que o processo de demolição do edifício. Assim, propõem uma nova metodologia de procedimentos durante um projecto de demolição. Estes dois tipos de procedimentos de demolição, o convencional e o proposto pelos autores diferem na abordagem realizada à gestão dos resíduos. Assim, o primeiro passo na nova metodologia é estimar o volume

dos resíduos originados da demolição. Esta estimativa deverá ser publicada, para que o público em geral tenha acesso a ela e possa negociar os elementos residuais com o empreiteiro. Este processo é particularmente vantajoso para o comprador, quando este possui requisitos para a compra dos produtos ou materiais, como o preço, quantidade, qualidade e características dimensionais. Os resíduos de demolição, que nesta nova metodologia podem denominar-se de produtos de demolição serão entregues aos compradores durante a implementação do processo de demolição e de acordo com o programa de demolição realizado. Em anexo confronta-se as duas metodologias analisadas pelos autores referidos nesta secção, sob a forma de fluxograma de actividades (Anexo A – Figura A.1).

Após a avaliação e inspecção ao local de demolição, à estrutura a demolir e às estruturas presentes nas proximidades, e partindo do pressuposto que o método de demolição está seleccionado conforme descrito em 2.3, elabora-se o plano de procedimentos da demolição e sequência dos trabalhos. De referir que a selecção do método de demolição deverá considerar o plano de gestão de resíduos de demolição elaborado. O plano de procedimentos de demolição e sequência dos trabalhos deverão ser apresentados todos os equipamentos utilizados nos trabalhos e devem ser também anexas as declarações de conformidade e verificações de segurança desses equipamentos de acordo o Decreto-Lei N° 50 de 2005. As características dos equipamentos utilizados na demolição assim como as suas limitações devem ser referidas neste documento. Os procedimentos da demolição consistem em acções a realizar durante a demolição da estrutura para que esta decorra com normalidade, como por exemplo a elevação das escavadoras para pisos superiores por parte de equipamentos de elevação, ou a realização de rampas de elevação com escombros para se conseguir um maior alcance por parte do braço da escavadora hidráulica. No caso de se querer preservar a fachada de um edifício a demolir, o projectista deve dimensionar os sistemas de contenção de fachadas e as aberturas para passagem dos equipamentos a utilizar na obra. Todos estes procedimentos devem ser planeados na fase de projecto e registados no plano de procedimentos de demolição.

O plano de sequência dos trabalhos de demolição é elaborado pelo projectista e deve assegurar que todos os trabalhadores na obra tenham o conhecimento de como e quando serão realizados os trabalhos de demolição. No plano de sequência dos trabalhos pode constar mais do que um método de demolição, mas realizado de forma faseada. De acordo com a norma britânica BS 6187, a escolha do método de demolição não pode comprometer a integridade estrutural, pelo que a demolição da estrutura deve ser sempre realizada por forma que o perigo decorrente dos colapsos não planeados seja evitado. Esta perigosidade de colapsos estruturais não planeados pode ser evitada referindo, aquando das inspecções à estrutura, todos os elementos que apresentem condições precárias e que estejam na iminente situação de ruir. No caso de existirem elementos especiais como elementos pré-fabricados, pré-esforçados ou elementos metálicos, deve-se aplicar um planeamento de operações a realizar na demolição destes. Este planeamento é elaborado devido à complexidade e ao perigo que a demolição destes elementos apresenta para as pessoas inerentes e não inerentes aos trabalhos de demolição.

O plano de segurança e saúde é um documento que visa o planeamento e a organização da segurança no trabalho em estaleiros temporários ou móveis. O plano de segurança e saúde é obrigatório em obras sujeitas a projecto e que envolvam riscos especiais ou comunicação prévia de abertura do estaleiro de acordo com o Decreto-Lei Nº 273 de 2003. Devido ao facto de estarem associados riscos especiais a trabalhos de demolição, considera-se que é obrigatório a elaboração de um plano de segurança e saúde para um projecto de demolição. Este plano deve ser elaborado a partir da fase de projecto de obra sendo posteriormente desenvolvido e especificado antes de se passar à fase de execução na obra. A elaboração deste documento na fase de projecto é da responsabilidade do dono de obra e na fase de execução da obra o desenvolvimento do plano é da responsabilidade da entidade executante. Em projectos individuais, o plano de segurança e saúde deve reunir as informações necessárias de cada pessoa envolvida na obra.

De acordo com a norma britânica BS 6187, no plano de segurança e saúde em fase de projecto deve apresentar os seguintes parâmetros:

- a.** Descrição geral do projecto;
- b.** Prazos de execução do projecto;
- c.** Caracterização dos riscos associados aos trabalhadores como resultado da actividade de demolição;
- d.** Informações necessárias para demonstrar a competência e a adequação dos trabalhadores;
- e.** Informações para fins de preparação do plano de segurança e saúde e para benefícios de serviços sociais;
- f.** Requisitos e permissões para realizar a actividade de demolição.

Na elaboração do plano de segurança e saúde, em fase de projecto, deve-se fazer referência às medidas de prevenção e segurança a aplicar na fase de execução da obra. Durante a elaboração deste plano deve-se chamar a atenção da entidade executante para os riscos especiais associados à demolição da estrutura. De notar que o autor do plano de segurança e saúde na fase de projecto deve considerar o método de demolição seleccionado e associar aos riscos especiais presentes na execução da obra. A cada método de demolição podem estar associados vários riscos que devem ser prevenidos e controlados.

Para a fase de execução do projecto em obra, a entidade executante possui a responsabilidade de nomear um técnico para desenvolver o plano de segurança e saúde em obra a partir do plano de segurança e saúde em projecto de maneira a assegurar a saúde e a segurança de todas as pessoas envolvidas e não envolvidas na obra. As medidas de prevenção e segurança tomadas aquando da execução da obra deverão ser projectadas, planeadas e dimensionadas por um técnico responsável dos quadros do empreiteiro geral. Resumindo, no plano de segurança e saúde elaborado em obra deverá constar uma pormenorização das medidas de prevenção e segurança preconizadas no plano de segurança e saúde elaborado durante a fase de projecto.

As medidas de prevenção e segurança que devem ser referidas na elaboração do plano de segurança e saúde na fase de projecto devem contemplar a protecção do público e de pessoas não afectas à obra, a protecção das estruturas adjacentes afectadas e as medidas tomadas para suporte temporário e escoramento. As medidas de protecção ao público englobam a colocação de vedações, passagens cobertas para peões, plataformas de protecção contra quedas, ventoinhas de minimização de poeiras, colocação de andaimes e de lençóis e redes de protecção contra projecções. As medidas de protecção de estruturas adjacentes contemplam a colocação de protecções contra as projecções, vibrações, ruído e poeiras como uma constante pulverização de água sobre a estrutura de modo a diminuir as poeiras originadas. Se a inspecção a essas estruturas adjacentes verificar a existência de elementos enfraquecidos com a perigosidade de entrarem em colapso com os impactos da demolição, devem ser tomadas medidas de escoramento e de suporte temporário para essas estruturas. As paredes que separam a estrutura a demolir de edifícios adjacentes devem ser alvo de uma atenção especial e devem ser protegidas durante e depois da execução da demolição. Os elementos estruturais adjacentes a essas paredes devem ser demolidos por métodos manuais com extremo cuidado de modo a prevenir qualquer tipo de dano que se possa verificar nessas paredes.

A delimitação de zonas de segurança e de exclusão durante os trabalhos de demolição é uma tarefa que deve constar também no projecto de demolição. De acordo com a norma britânica BS 6187, uma zona de exclusão é uma zona que envolve a estrutura e os trabalhos de demolição e onde deve ser assegurado que as pessoas que estão fora dessa zona não são prejudicadas pela actividade de demolição e também pelo processamento dos materiais. Estas delimitações devem proteger as pessoas de perigos físicos, químicos e biológicos, assim como dos efeitos do ruído, das vibrações e das poeiras. Segundo a mesma norma, as zonas de segurança são zonas específicas dentro da zona de exclusão, como por exemplo, a zona de trabalho do operador de uma escavadora hidráulica, que está provisionada com uma cabine de trabalho reforçada e protegida contra qualquer tipo de impacto. As zonas de exclusão e de segurança devem ser estabelecidas e avaliadas de acordo com o método de demolição, a previsão do tipo e

tamanho do colapso. Estas zonas devem ser aplicadas quando toda a estrutura ou parte dela estiver a ser demolida e devem englobar as áreas onde as máquinas irão trabalhar e onde os escombros provenientes da demolição vão ser depositados.

Durante a execução dos trabalhos de demolição, os encarregados e engenheiros responsáveis pela obra devem monitorizar todos os trabalhos realizados e assegurar que decorrem como está descrito no plano de procedimentos e sequência dos trabalhos. Outra tarefa que estes responsáveis devem realizar é a verificação das condições actuais, como por exemplo o tipo e a resistência da estrutura, e comparar com as condições que foram registadas aquando da inspecção realizada à estrutura antes do início dos trabalhos assegurando que não existam desvios entre as condições actuais e as supostas inicialmente.

Todos os trabalhadores associados a uma obra de demolição devem possuir a competência necessária para a realização do trabalho que estes realizam. Em Portugal, um trabalhador qualificado para uma função possui o Certificado de Aptidão Profissional (CAP). Estes asseguram que um trabalhador profissional possua as competências necessárias para o exercício, com qualidade, da sua profissão. A entidade empregadora é responsável por dar formação contínua aos seus empregados. No caso do sector da demolição de estruturas, esta é da responsabilidade da empresa de demolição.

Após a execução do projecto de demolição da estrutura pelo empreiteiro, e depois de concluída com sucesso a demolição da mesma, deverão ser tomadas algumas medidas de precaução e de prevenção. Assim, deverá ser realizado um plano de trabalhos pós-demolição que será também parte integrante do projecto de demolição. Neste plano deverá estar contemplado uma série de operações a realizar após a conclusão da obra de demolição como a limpeza de escombros que não são recicláveis ou reaproveitáveis, o nivelamento do local de demolição e inspecções frequentes a suportes temporários nas estruturas adjacentes por entidades responsáveis de modo a garantir a segurança antes de o empreiteiro abandonar o local. Também após a finalização da execução do projecto de demolição deverá realizar-se uma nova inspecção aos edifícios adjacentes e vizinhos confrontando esta com o relatório elaborado após a inspecção a estas estruturas antes da demolição. Todos os danos verificados após a demolição devem ser reparados, sendo o

custo imputado à entidade executante. O local de obra manter-se-á vedado e deverá ser impedida a entrada de público no local após demolição. As escavações realizadas no local e zonas com inclinação deverão ser estabilizadas e niveladas de modo a garantir condições de segurança.

2.5 Resumo

Neste capítulo tentou abordar-se, de uma forma abrangente, como se constitui e elabora um projecto de demolição. Em Portugal, os projectos de demolição existentes são poucos e, geralmente, apresentam-se muito incompletos. Durante as visitas e acompanhamentos realizadas pelo autor a obras de demolição tentou-se averiguar se tinha sido elaborado algum projecto para as obras de demolição em causa. Verificou-se que, normalmente, apenas era realizado um plano de segurança e saúde, como é obrigatório em todas as obras de demolição efectuadas. Assim, com a elaboração deste capítulo tenta-se chamar a atenção de todas as entidades relacionadas com o sector da demolição de estruturas para os perigos associados a obras de demolição e para a forma como estes podem ser evitados e/ou prevenidos. Em alguns países, como a Espanha ou a Grã-Bretanha são promovidos seminários para as empresas de demolição no sentido de estas elaborarem bons projectos de demolição. Neste âmbito, Espanha possui associações de empresários de demolição que promovem e defendem uma elaboração cuidada e completa dos projectos de demolição quer em termos de execução em obra como em termos de projecto e segurança. A Grã-Bretanha, por sua vez, possui um documento normativo especificamente para demolições de estruturas, mais concretamente um código de práticas de demolição de estruturas (BS 6187, 2000) onde são fornecidas orientações e regras para a elaboração de um projecto de demolição. Hong Kong possui também um código de práticas para a demolição de edifícios elaborado pelo Departamento de Edifícios do país. Portanto, através da análise destes documentos normativos conseguiu-se elaborar um conjunto de orientações a tomar, no sentido de efectuar um projecto de demolição.

No esquema da Figura 5 está representado o processo de decisão a tomar na demolição de um edifício. Este esquema é apresentado por Liu *et al.* (2005) e nele

Com a análise do esquema da Figura 5, conclui-se que a demolição total de um edifício deve ser a opção a tomar depois de rejeitadas a remodelação deste, a deslocalização do edifício para outro local e a desconstrução do edifício aproveitando elementos provenientes da demolição para serem reutilizados noutras construções. A desconstrução é, assim, uma demolição selectiva que caracteriza-se pelo desmantelamento cuidadoso, de forma a possibilitar a recuperação de materiais e elementos da construção (Couto *et al.*, 2006). Os materiais provenientes da demolição total da estrutura e, também, materiais não aproveitados na desconstrução do edifício podem ser reciclados para utilização noutras construções como, por exemplo, em obras rodoviárias. Os materiais que não sejam aproveitados para reciclagem são enviados para aterros. Como se pode observar no esquema, os produtos da desconstrução e da demolição que são aproveitados para reutilização e reciclagem são introduzidos no mercado de produtos e de materiais de construção. Este esquema reflecte a importância da execução de um projecto de demolição cuidado e de um estudo profundo à estrutura e aos materiais que a compõem. Assim, é possível reaproveitar materiais e elementos construtivos provenientes do edifício a demolir e utilizá-los em novas construções ou em remodelações.

Como resumo dos procedimentos e orientações para a elaboração de um projecto de demolição averiguados no presente capítulo, apresenta-se um fluxograma de procedimentos a considerar na preparação e execução de uma demolição (Figura 6).

A elaboração deste fluxograma foi realizada devido a uma análise efectuada a documentos normativos já referidos neste capítulo como a norma britânica BS 6187, o código de práticas sobre demolição de edifícios de Hong Kong e, também, ao estudo efectuado à gestão de projectos de demolição de edifícios (Liu *et al.*, 2005).

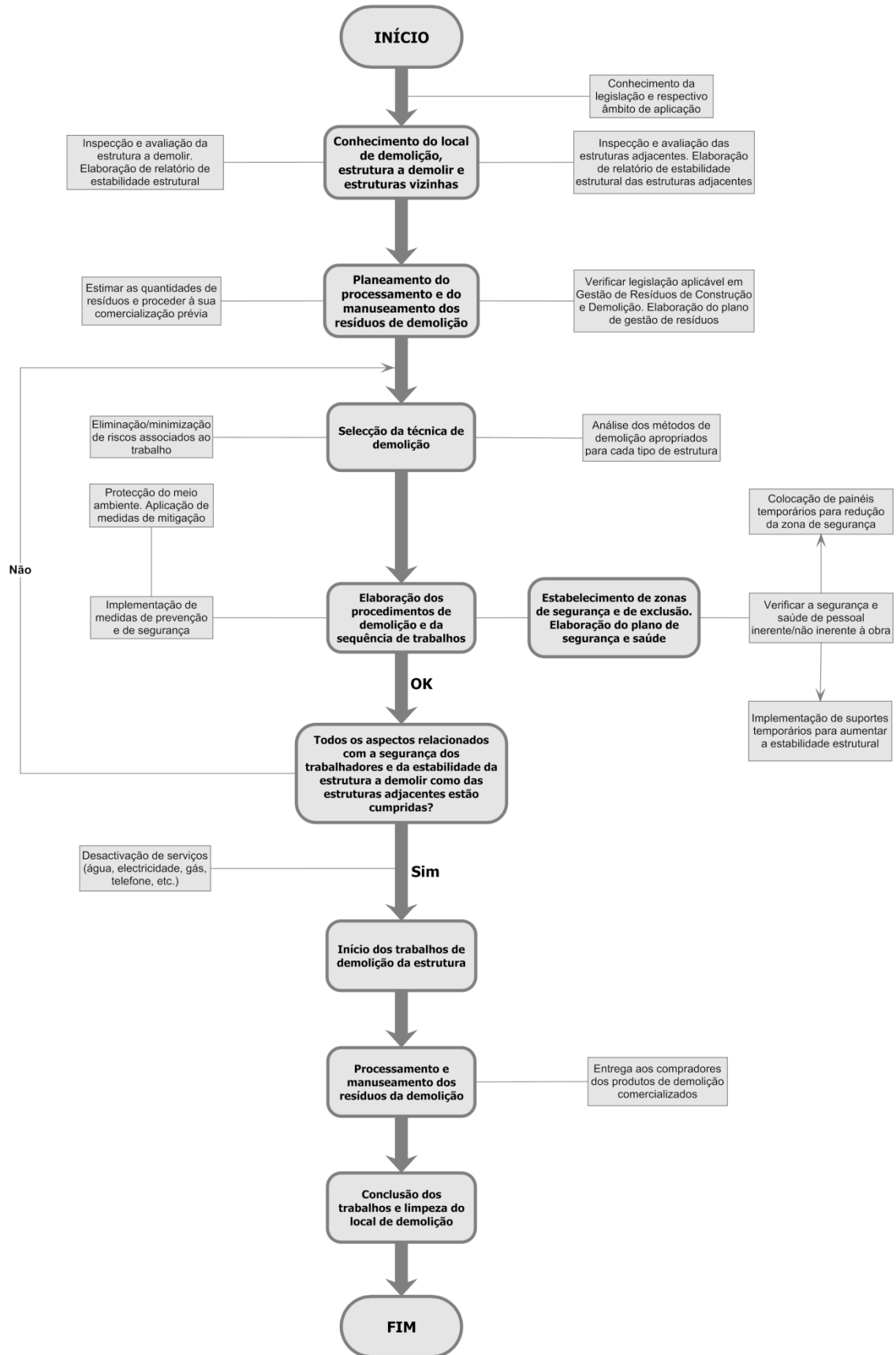


Figura 6. Fluxograma de procedimentos na elaboração de uma obra de demolição

Segundo o fluxograma proposto, a comercialização dos materiais e de elementos construtivos provenientes da demolição do edifício deve ser realizada após a inspecção e avaliação do edifício a demolir e antes da selecção do método de demolição. Isto porque após a realização de um relatório de inspecção onde são especificadas todas as características do edifício assim como de todos os materiais e elementos que o constituem, estes são seleccionados e estimadas as quantidades de todos os materiais e elementos construtivos que serão aproveitados e divulgados no mercado de modo a que as pessoas possam ter acesso. Após as negociações e conversações entre os compradores e as empresas de demolição, é efectuada a selecção do método de demolição de acordo com os materiais e elementos construtivos que serão comercializados e, também, tendo como prioridade a eliminação e/ou minimização dos riscos associados aos trabalhos de demolição. Após a selecção do método de demolição estar concluída, é elaborado o plano de procedimentos de demolição e da sequência dos trabalhos. Associado a este plano deverá estar também o plano de segurança e saúde para os trabalhos a realizar, que estabelece zonas de segurança e provisiona a instalação de medidas de prevenção, segurança e de estabilidade estrutural.

Após a verificação de todas as medidas propostas no plano de segurança e saúde, e garantida a segurança de todas as pessoas inerentes à obra, assim como a segurança do público, pode-se dar início à desactivação de todos os serviços associados à estrutura a demolir (água, electricidade, gás, telefone, etc.) e, posteriormente, aos trabalhos de demolição.

Os materiais e elementos construtivos reaproveitados da estrutura e que foram comercializados podem ser entregues aos compradores após a sua retirada da estrutura. Concluídos todos os trabalhos de demolição, procede-se à inspecção do local de demolição e das estruturas adjacentes. O local de demolição deve ser deixado limpo pela entidade que executa os trabalhos.

Capítulo 3. Processos de Demolição

3.1 Preâmbulo

Neste capítulo serão descritos e analisados os vários processos de demolição que podem ser utilizados na demolição total ou parcial de uma estrutura. Com base no Centro Científico e Técnico da Construção de Bruxelas, citado por Brito (1999), os processos de demolição podem dividir-se em:

- a. Processos mecânicos**, em que a demolição é efectuada com recurso a equipamentos mecânicos que provocam a fragmentação ou o derrube das estruturas;
- b. Processos térmicos**, que consistem em processos que utilizam o calor para provocar a fusão do material;
- c. Processos abrasivos**, que englobam os equipamentos de corte por abrasão do material. As ferramentas diamantadas são as mais utilizadas nestes processos;
- d. Demolição com recurso a cargas explosivas**, em que se utiliza cargas explosivas para criar descontinuidades na estrutura de modo a originar o colapso da mesma;
- e. Processos eléctricos**, em que utilizam a energia eléctrica como meio para fragmentar o elemento;
- f. Processos químicos**, que consistem na utilização da capacidade de expansão de alguns materiais químicos para provocar a fragmentação de elementos.

No âmbito da demolição de um edifício pode-se separar duas fases distintas da demolição, a demolição primária e a demolição secundária. Os trabalhos que têm por objectivo derrubar a estrutura e colocar os elementos que fazem parte desta ao nível do terreno definem-se como trabalhos de demolição primária. A fase seguinte que corresponde à demolição secundária define-se como a fragmentação dos elementos derrubados de modo a obter uma granulometria menor conforme o destino dos mesmos (Fueyo, 2003). Mediante a aplicação de acessórios específicos para o efeito,

pode-se proceder a uma demolição em que os trabalhos primários e secundários são efectuados ao mesmo tempo. Em Portugal, antes da construção dos novos estádios para a realização do Campeonato Europeu de Futebol de 2004, houve uma série de estádios que foram demolidos totalmente e parcialmente. Este aparecimento de trabalhos provocou um crescimento das empresas de demolição e, também, a valorização dos resíduos da demolição que até então eram levados para aterros, sem serem reciclados ou reaproveitados. Em anexo apresenta-se um quadro de classificação de técnicas de demolição proposto no código de práticas de Hong Kong, como complemento para melhor compreender as características dos processos de demolição (Anexo A – Tabela A.1).

3.2 Processos Mecânicos

Os métodos a seguir descritos correspondem a processos de demolição de edifícios com recurso a equipamentos mecânicos. Foi neste sector da demolição onde a evolução tecnológica mais se fez sentir, visto ser entre os processos de demolição, o processo com maior índice de utilização pelas empresas de demolição. Estes foram evoluindo desde as ferramentas mais rudimentares, que ainda existem, com recurso à força humana até a ferramentas hidráulicas, pneumáticas e alimentadas por combustíveis ou electricidade que existem actualmente no mercado. Os primeiros equipamentos a serem utilizados na demolição de edifícios como o martelo, o cinzel, a marreta, a picareta, pé de cabra e a pá, foram usados durante algum tempo em casas de construção em pedra, terra ou madeira e onde a demolição era normalmente realizada elemento a elemento e com recurso a força humana (Brito, 1999). Após o aparecimento do betão armado na indústria da construção de edifícios, surgiu mais tarde a necessidade de demolir esse material e, assim, foi necessário evoluir as ferramentas utilizadas até então, pois era complicada a demolição desse material com recurso aos equipamentos manuais acima referidos. Portanto, surgiram novas ferramentas, equipamentos pesados de grande envergadura e de elevada força, em que o homem apenas os conduzia realizando menos esforço do que realizava com a utilização das ferramentas manuais.

3.2.1 Campo de aplicação

Como já foi referido anteriormente, a demolição mecânica é o sistema de demolição mais utilizado. Contudo, quando não se opta por este processo para a demolição do edifício, normalmente, recorre-se a ele para os trabalhos de demolição secundária. Por exemplo, quando se realiza uma demolição pelo uso controlado de explosivos, os resíduos resultantes da demolição são de grandes dimensões, sendo necessário realizar uma trituração desses destroços para que a granulometria dos resíduos diminua, de modo a facilitar o transporte e a reciclagem em centrais próprias.

A demolição manual é utilizada quando não é viável o uso de máquinas de grande porte. A demolição de interiores normalmente é realizada por demolição manual, no entanto, com o avanço tecnológico começou-se a utilizar mini-escavadoras de baixo peso e de dimensões reduzidas neste tipo de trabalhos. O peso das máquinas e as suas dimensões são os principais factores para que se possa usar mini-escavadoras na demolição de paredes interiores.

Cada sistema de demolição tem o seu campo de aplicação devido a muitos factores, tais como o tempo de execução da obra, as particularidades de cada obra, a disponibilidade dos equipamentos ou as limitações existentes (Fueyo, 2003).

As escavadoras existentes no mercado, adaptadas para demolição, permitem alcançar alturas elevadas, na ordem dos 50 metros. Portanto, dependendo do alcance do braço de demolição da escavadora, pode-se dizer que a demolição do edifício está condicionada pelo alcance da escavadora. Assim, qualquer edifício que esteja ao alcance do braço da escavadora pode ser demolido por sistema mecânico. A aplicação deste método em edifícios isolados deve ser comparado, por exemplo, com o recurso a explosivos, caso a demolição mecânica apresente baixos rendimentos. A demolição de um edifício que esteja contido entre dois edifícios pode ser efectuada com recurso a meios mecânicos desde que seja garantida a separação das paredes dos outros edifícios através de outros processos de demolição.

3.2.2 Equipamentos base de suporte a acessórios de demolição

Nesta secção irá abordar-se os equipamentos mecânicos que têm como função suportar, movimentar ou transmitir potência hidráulica a acessórios projectados para a realização de trabalhos de demolição de edifícios.

Como mero exemplo, este tipo de equipamento está presente na técnica de demolição de um edifício com recurso ao impacto de uma grande massa suspensa. Esta técnica, abordada mais à frente neste capítulo, possui como equipamento de suporte uma grua que suporta a bola de massa e transmite à mesma o movimento para se dar o impacto na estrutura. Esta grande massa é o acessório que vai provocar a fragmentação da estrutura.

A demolição de estruturas é uma arte efectuada por empresas que começaram a trabalhar em movimentação de terras. Esta mudança de teor de trabalho deu-se devido à capacidade das máquinas utilizadas até então em provocar o colapso de estruturas. Este tipo de maquinaria começou a ser comercializado a partir da década de 50 nos países europeus (Fueyo, 2003). Assim, as construções que até então eram demolidas por ferramentas ligeiras puderam ser também demolidas com o auxílio da potência hidráulica gerada por estas máquinas. Verificou-se a necessidade de adaptar as máquinas de movimentação de terras para a demolição de betão armado. Das máquinas usadas no sector de movimentação de terras, a que mais sentiu uma forte evolução em aplicações no sector da demolição de edifícios foi a escavadora hidráulica. Esta sofreu alterações quer ao nível da capacidade de alcance da sua lança hidráulica, como a possibilidade de aplicação de ferramentas hidráulicas na ponta da lança para fragmentar o betão armado. Os acessórios hidráulicos produzidos são os martelos hidráulicos, as tesouras de corte de betão e aço, as tesouras de pulverizar betão, as pinças de selecção de materiais e de carga dos resíduos da demolição (Fueyo, 2003).

Escavadoras hidráulicas

As escavadoras hidráulicas podem-se movimentar sobre rodas ou sobre rastos. Estas últimas são as mais utilizadas, visto adaptarem-se a qualquer zona de trabalho e a deslocarem-se por cima dos destroços sem haver o perigo de danificar os pneus. As

modificações realizadas nas escavadoras hidráulicas para poderem realizar a demolição de edifícios não se ficaram pelo aumento da lança ou pela possibilidade de aplicar uma variedade de acessórios de demolição. Estas sofreram alterações quer ao nível do reforço dos seus chassis como ao aumento do seu peso para serem capazes de contrabalançar com os esforços produzidos na ponta da lança durante os trabalhos de demolição (Fueyo, 2003).

As escavadoras hidráulicas de demolição dispõem de modelos produzidos pelos seus fabricantes com pesos em trabalho que podem variar de 20 toneladas até pesos acima de 100 toneladas.

Na Figura 7 está representada uma escavadora hidráulica de rastos de 30 toneladas adaptada para a demolição de edifícios. Esta possui lança de demolição que permite demolir estruturas até 15 metros de altura com uma tesoura de corte de betão como acessório de demolição.



Figura 7. Escavadora hidráulica de rastos com lança de demolição e respectivo acessório
(Komatsu, 2009)

Mini-escavadoras hidráulicas

Verificada a eficiência deste tipo de escavadoras hidráulicas no sector da demolição de edifícios, os seus fabricantes começaram a produzir escavadoras de pequenas dimensões para trabalhos de demolição no interior dos edifícios (Figura 8). Os acessórios disponíveis no mercado para acoplar a estas mini-escavadoras são os mesmos disponíveis para as escavadoras hidráulicas, apenas diminuindo o tamanho e o seu peso. As mini-

escavadoras permitem a sua colocação ao nível dos pisos constituintes do edifício e demolir os elementos interiores de cada piso. Existem mini-escavadoras que possuem 0,80 metros de largura, o que permite a movimentação desta através de escavadas e portas de acesso. Para mini-escavadoras com maior peso e largura, a sua colocação nos vários pisos é efectuada através de equipamentos de elevação. As mini-escavadoras existentes no mercado pesam entre 1 e 5 toneladas.



Figura 8. Mini-escavadora hidráulica de rastros

Conjuntos industriais

Os conjuntos industriais, mais vulgarmente conhecidos como retroescavadoras também são usados na demolição de edifícios, embora estejam limitados a construções de pequeno porte (Figura 9). A vantagem deste equipamento incide sobre a capacidade de possuir um braço hidráulico e uma pá carregadora. Isto permite, que depois de demolir uma construção com o braço hidráulico traseiro, os resíduos sejam carregados para um camião com a pá carregadora, permitindo obter uma redução de custos com máquinas. Se o sistema hidráulico do braço traseiro for alterado, podem ser acoplados acessórios de demolição ao mesmo, aumentando o seu rendimento.



Figura 9. Conjunto Industrial – Retroescavadora (Komatsu, 2009)

Equipamentos de elevação

Já foi referido anteriormente o caso da demolição de uma estrutura através do impacto de uma grande massa na estrutura como exemplo para demonstrar um equipamento de elevação como equipamento base para suporte de acessórios de demolição. Na realidade as gruas ou outro equipamento de elevação possuem bastantes vantagens na sua utilização no sector da demolição de estruturas.

A demolição aérea consiste na utilização de um acessório de demolição como uma tesoura de corte de betão ou de aço suspenso através de um equipamento de elevação. Estes acessórios podem ser os mesmos que são utilizados nas escavadoras hidráulicas, sendo necessário um grupo hidráulico apropriado que através de mangueiras ligadas ao acessório permite o seu funcionamento. Uma utilização bastante eficiente deste sistema é na demolição de estruturas de casca de grande altura como chaminés. Pode-se observar na Figura 10 um exemplo de aplicação deste sistema na demolição de uma chaminé em betão armado com uma tesoura de corte de betão suspensa numa grua e que está ligada a um grupo hidráulico situado no solo.



Figura 10. Demolição aérea com grua (Atlas Copco, 2006b)

Um fabricante italiano produz um conjunto de demolição aérea constituído por motor que transforma a energia em trabalho mecânico, bomba hidráulica e a ferramenta de demolição que é suspensa através da grua e controlada remotamente (Fueyo, 2003). Neste sistema, o grupo hidráulico é parte integrante do dispositivo elevado.

Equipamentos com controlo remoto

Quando se procede à demolição de um edifício existe sempre o risco deste entrar em colapso antes do inicialmente previsto, colocando em perigo as vidas daqueles que intervêm durante obra de demolição. Assim surgiu a necessidade de encontrar um meio válido como uma escavadora controlada remotamente, para proceder à demolição de estruturas de modo a minimizar o risco para as pessoas que estejam expostas a certo tipo de trabalhos, como por exemplo, em centrais nucleares ou em estruturas contaminadas com materiais perigosos. Outra situação de perigo é a demolição de elementos em espaço confinados, como por exemplo caves ou galerias subterrâneas (Park&Co, 2007).

O equipamento de controlo remoto consiste numa mini-escavadora com uma lança hidráulicamente articulada em que é possível colocar vários acessórios na ponta de acordo com o trabalho a realizar ou o material (DOE, 1998) (Figura 11). De acordo com o fabricante deste equipamento de demolição robotizada, a maior máquina existente no mercado possui uma lança com o comprimento de 7 metros podendo a máquina rodar

360° sobre a plataforma de apoio (Brokk, 2008b). Os acessórios disponíveis para este tipo de escavadora são idênticos aos utilizados nas escavadoras e mini-escavadoras hidráulicas. Neste equipamento de controlo remoto apresentado na Figura 11 com um peso de 4,8 toneladas e que ostenta uma lança com 7 metros de comprimento, pode-se aplicar um acessório de demolição com um peso não superior a 600 kg (Brokk, 2008a).



Figura 11. Equipamento de demolição por controlo remoto (Brokk, 2008b): a) com martelo hidráulico acoplado; b) controlo remoto

Unidades hidráulicas

As unidades hidráulicas também se podem qualificar como equipamentos base de suporte a implementos de demolição. Já foi demonstrado o seu uso na demolição aérea e podem também ser usadas na demolição de pequenos elementos de betão armado. Na Figura 12 pode-se observar várias tesouras de demolição que podem funcionar acopladas a uma unidade hidráulica.



Figura 12. Conjunto de tesouras de demolição e unidade hidráulica (Darda, 2008a)

3.2.3 Demolição por empurre ou tracção

O processo de mecanização de ferramentas e equipamentos para utilização em processos de demolição de edifícios significou um avanço enorme nesta actividade e, consequentemente, uma redução de custos com pessoal e um aumento de segurança em obra.

A demolição por empurre, é um processo que consiste em derrubar a estrutura mediante a aplicação de esforços capazes de ultrapassar a resistência dos elementos estruturais e, assim, provocar o seu colapso (Figura 13). Esta técnica está limitada a construções ligeiras e baixas pois os equipamentos utilizados são simples e de médio porte com limitações em termos de altura do braço hidráulico do equipamento. Em termos de segurança é também algo limitada pois é um tipo de demolição não controlada. Os equipamentos que normalmente são usados neste processo são as retro-escavadoras (conjunto industrial), as escavadoras de rastos ou de rodas, as mini-escavadoras e os tractores de rastos (*bulldozers*). Estes equipamentos provocam o colapso dos sem acessórios hidráulicos acoplados, ou seja, apenas a força hidráulica que a máquina é capaz de gerar é usada para derrubar a estrutura. O rendimento deste processo depende da experiência do manobrador da máquina em compreender os pontos fracos da estrutura e o modo de colapso. Apesar de ser um tipo de demolição economicamente mais viável, não realiza a separação dos materiais e origina resíduos de elevadas dimensões sendo necessária a aplicação de outros métodos para reduzir o tamanho dos resíduos e fazer a separação de materiais.



Figura 13. Demolição por empurre (Alonso, 2009)

Em edifícios que seja difícil ou impossível o acesso com o braço hidráulico dos equipamentos, pode-se aplicar uma variante da demolição por tracção, que consiste em “amarrar” a estrutura ou parte da estrutura com um cabo de aço e através, por exemplo, de um tractor de rastros ou equipamento equivalente, puxar o cabo de modo a provocar o derrube da estrutura (Figura 14). É um método de demolição antigo, usado quando ainda não havia equipamentos pesados de demolição. Este método é também aplicável a estruturas metálicas, no qual pode obter um bom rendimento. Sendo um método com pouca segurança é necessário ter cuidado no cabo a utilizar, pois este deverá ser sobredimensionado de modo a evitar a sua rotura provocando no cabo um efeito chicote (Brito, 1999). Adicionalmente, segundo o código de práticas sobre demolição de edifícios de Hong Kong, deve ser, também criada uma distância de segurança à volta da estrutura de 1,5 vezes a altura da estrutura a demolir. Caso se queira demolir estruturas de betão armado com recurso a este método deve-se, previamente, enfraquecer elementos de suporte através de rasgos no betão e corte das armaduras, de modo a aumentar o rendimento. Este processo deve ser realizado por pessoas especializadas e com ampla experiência neste tipo de demolição, pois existe o risco de a estrutura entrar em colapso durante o processo de enfraquecimento. Actualmente, este método raramente se utiliza devido à pouca segurança associada e também devido ao aparecimento de métodos mais eficazes, mais seguros e mais adequados. Apesar destas desvantagens, é um método que possui uma rápida execução e que recorre a poucos equipamentos tornando-se num método económico.



Figura 14. Demolição por tracção de cabos

3.2.4 Demolição por fragmentação

Os equipamentos já referidos, como as escavadoras e os conjuntos industriais são equipamentos bastante utilizados na demolição de edifícios de grande porte e constituídos por materiais resistentes como o betão armado, pois possuem uma grande variedade de acessórios que aplicados aos sistemas hidráulicos permitem um elevado rendimento no trabalho a efectuar. Para cada trabalho pretendido, utiliza-se o acessório mais apropriado de modo a aumentar o rendimento do processo. Relativamente à demolição por empurre ou tracção, na demolição por fragmentação são aplicados acessórios exclusivamente concebidos para a indústria da demolição. Desta forma, consegue-se aumentar os níveis de segurança em torno da demolição. A escavadora de rastos é muito utilizada na demolição de estruturas em betão devido à sua grande mobilidade entre os destroços por si originados e também devido ao seu variado leque de acessórios existentes. O facto de existir a possibilidade de aumentar o alcance do braço hidráulico da escavadora permite um maior rendimento em estruturas de elevada altura. Os acessórios disponíveis no mercado para estes equipamentos são os martelos hidráulicos e mecânicos, tesouras de corte para betão, pulverizadores para betão, tesouras de corte para aço, pinças, multi-processadores, serras, moedores de betão, *nibblers* e *rippers*.

As tesouras de demolição funcionam por corte do material enquanto os pulverizadores esmagam o betão armado e separam o aço do betão para se proceder à reciclagem dos materiais. O *nibbler* é um acessório que possui um dente curvo e por aplicação de rotação sobre uma porção do elemento provoca a fragmentação. É um acessório que é adequado à demolição de lajes, mas pouco utilizado visto haver métodos com maior rendimento. O *ripper* é um elemento curvo que acoplado a um braço hidráulico, habitualmente dum tractor de rastos, provoca a deterioração do material por fragmentação. Nesta parte vai-se analisar alguns métodos de demolição usados, com base nos equipamentos usados.

3.2.4.1 Martelos manuais

Existem no mercado martelos eléctricos, hidráulicos, pneumáticos e a combustível, no entanto ambos trabalham por percussão com o objectivo de fragmentar o betão. Outro tipo de martelos são aqueles que para além de percussão possuem, também, rotação a trabalhar simultaneamente. Este movimento de rotação permite ao martelo perfurar e, simultaneamente, fragmentar o betão. Normalmente, o martelo de percussão serve para remover pequenas espessuras de betão enquanto o martelo perfurador serve para demolir lajes ou maciços de grandes dimensões.

Martelos manuais eléctricos

Os martelos manuais eléctricos disponíveis no mercado vão dos 3,5 kg até aos 31 kg, sendo este último (Figura 15a) um martelo que consegue imprimir até 870 impactos por minuto, com uma energia de impacto de 68 Joules (DeWalt, 2007). Os martelos eléctricos são dispositivos utilizados em pequenos trabalhos de demolição e perfuração. A vibração e o ruído existente neste tipo de martelos são hoje um problema que os fabricantes têm procurado melhorar utilizando materiais e tecnologias mais avançadas capazes de diminuir substancialmente o nível de vibração e de ruído provocado por estes martelos.



(a)



(b)

Figura 15. Martelos manuais: a) Martelo eléctrico (DeWalt, 2007); b) Martelo eléctrico em obra (Anka, 2009)

Para trabalhos mais pesados, onde é necessário mais capacidade de impacto por parte do martelo, recorre-se a martelos pneumáticos ou hidráulicos.

Martelos manuais pneumáticos

O martelo pneumático funciona com recurso a pressão de ar comprimido, sendo necessário a presença de um compressor que produz o ar comprimido, transmitindo-o ao martelo mediante mangueiras de conexão entre o compressor e o martelo, que transforma essa pressão em energia de impacto (Figura 16). Os equipamentos pneumáticos necessitam de um certo volume de ar com a pressão correcta para terem um funcionamento adequado. A pressão normal de funcionamento deste tipo de equipamento é de 6 bar, contudo pressões mais baixas podem diminuir o rendimento do equipamento.



(a)



(b)

Figura 16. Equipamento de ar comprimido (Atlas Copco, 2006b): a) Compressor de ar portátil; b) Martelo manual pneumático em funcionamento

Os martelos manuais pneumáticos podem variar em peso dos 19 kg aos 37 kg (Atlas Copco, 2006b) conforme o trabalho que se pretende realizar. Os martelos mais pesados são mais indicados para demolições de betão e asfalto, sendo os mais ligeiros para demolição de matérias com uma dureza mais baixa. Este tipo de martelo

pode imprimir até 1500 pancadas por minuto, sendo que este número tende a diminuir consoante o aumento do peso do martelo.

Martelos manuais hidráulicos

Os martelos manuais hidráulicos são equipamentos vocacionados para trabalhos de maior exigência mecânica. Este tipo de martelo consegue impor uma grande energia de impacto em comparação com os martelos eléctricos ou pneumáticos. Segundo a Atlas Copco (2006b), um martelo hidráulico de 32kg consegue introduzir a mesma energia de impacto que um martelo pneumático de 40kg. Os pesos destes equipamentos variam entre os 12kg e os 33kg, conseguindo o martelo mais ligeiro introduzir 2400 pancadas por minuto com uma energia de impacto de 25 Joules por pancada. O martelo mais robusto consegue introduzir 1275 pancadas por minuto com uma energia de impacto de 150 Joules (Atlas Copco, 2006b).

O funcionamento do martelo hidráulico consiste na transformação da pressão de óleo provocada por um grupo hidráulico independente (Figura 17a), em energia de impacto, sendo que o óleo que circula entre o grupo hidráulico e o martelo está constantemente sob pressão. O martelo está ligado ao grupo hidráulico por duas mangueiras, sendo que uma tem a função de levar o óleo do grupo ate ao martelo e a outra a função de retornar o óleo ate ao grupo hidráulico.



(a)



(b)

Figura 17. Equipamento hidráulico (Atlas Copco, 2006b): a) Grupo hidráulico; b) Martelo hidráulico em funcionamento

Martelos manuais a combustível

Os martelos manuais a combustível são martelos que possuem um funcionamento autônomo. São utilizados em trabalhos onde é difícil ou impossível o acesso de fontes de energia como zonas montanhosas, áreas afectadas por desastres, etc. Estes martelos podem funcionar a gasolina ou a gasóleo.

A Atlas Copco produz um martelo manual autónomo (Figura 18) em que o combustível é gasolina e possui um peso de 25,2 kg. Este martelo é capaz de imprimir 1440 pancadas por minuto com uma energia de impacto de 60 joules. O consumo de combustível ronda, geralmente, 0,9 litros por hora (Atlas Copco, 2008).



Figura 18. Martelo manual a gasolina (Atlas Copco, 2007)

3.2.4.2 Martelos hidráulicos de demolição

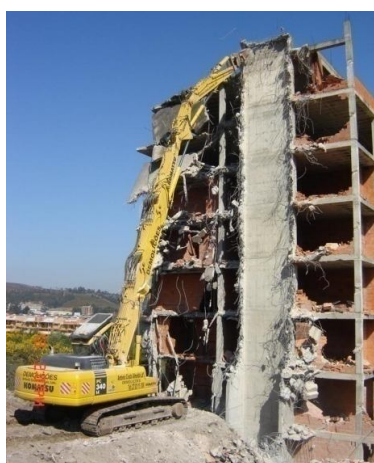
Nesta parte abordar-se-á os martelos hidráulicos de demolição concebidos como acessórios para trabalhar em conjunto com máquinas como escavadoras ou retroescavadoras hidráulicas (Figura 19).

Estes martelos possuem, praticamente, o mesmo modo de funcionamento que os martelos manuais hidráulicos, sendo a diferença que nestes é a escavadora hidráulica que produz a potência hidráulica. O martelo hidráulico, por sua vez, transforma essa potência hidráulica em energia cinética provocando o movimento repetitivo de pancadas.



Figura 19. Martelo hidráulico de demolição

Os martelos hidráulicos de demolição fazem parte dos acessórios disponíveis no mercado para escavadoras de demolição e são equipamentos utilizados na demolição de materiais como o betão. Possuem maior adequabilidade na demolição de lajes de betão, de muros de fundação, de pavimentos de betão ou asfalto ou de muros. Apesar de apresentarem um bom rendimento, este tipo de martelos também tem algumas desvantagens. O pistão que transmite as pancadas ao material deve apoiar de forma consistente sobre o elemento a demolir, ou seja, não é apropriado trabalhar com o martelo de modo que o ponteiro esteja a apontar para cima (Figura 20). Este procedimento é perigoso para o manobrador podendo ser projectados resíduos de betão segundo a lança e danificar a cabine de protecção.



a)



b)

Figura 20. Demolição com martelo hidráulico: a) modo incorrecto de funcionamento; b) modo correcto de funcionamento

Um outro exemplo em que não é adequada a utilização de martelos hidráulicos, é quando se pretende demolir um silo de secção circular oca, em que para se poder colocar o pistão do martelo na direcção perpendicular com a face exterior do silo seria necessário movimentar a escavadora constantemente. Assim, o mais adequado neste caso é a utilização de tesouras de corte para betão (Fueyo, 2003).

Outro problema característico dos martelos hidráulicos de demolição é o efeito do martelo sobre as armaduras de reforço em aço que é nulo. É necessária a utilização de outro método para cortar as armaduras. Contudo, este é um problema afecto a todos os outros tipos de martelos já referidos. Assim, para se cortar as armaduras deve-se usar tesouras de corte para aço ou oxicorte (ver secção 3.3.1) (Fueyo, 2003).

Em trabalhos de demolição de elementos de suporte, deve-se ter cuidado para o perigo de colapso da estrutura. Não se deve proceder a uma demolição de um elemento de suporte com elementos apoiados neste.

Segundo Fueyo (2003), na demolição de lajes com uma espessura entre 10 cm e 30 cm, o rendimento do processo é proporcional ao tamanho do martelo e da máquina até um limite de 3000 kg de martelo. A partir deste peso, o rendimento começa a ser muito baixo para o preço do equipamento. Para lajes com espessuras entre 40 cm e 50 cm recomenda-se o uso de martelos de 3500 kg a 6000 kg. Durante a demolição de lajes é importante ter cuidado com o momento em que o pistão do martelo trespassa a laje, pois o martelo a trabalhar no vazio pode danificar.

Um trabalho em que o martelo hidráulico possui bastante eficiência é a demolição de maciços de fundação em betão. Estes maciços como possuem grandes dimensões, são muito difíceis de demolir com tesouras de corte para betão. Assim, os martelos surgem como uma boa alternativa, embora haja outros métodos que oferecem, também, um bom rendimento (Fueyo, 2003) como, por exemplo, o sistema de cunhas hidráulicas (ver secção 3.2.5).

De acordo a marca Indeco (2008), fabricante deste tipo de equipamentos, o seu maior martelo possui um peso de 7,8 toneladas e o diâmetro do ponteiro é de 21,5 cm (Figura 21). É um martelo de grande potência pois consegue aplicar uma energia de impacto por golpe de 18930 Joules e é recomendado o seu uso em escavadoras

hidráulicas de 45 toneladas até 120 toneladas. A gama de martelos comercializada por este fabricante possui martelos que podem variar de 0,1 até 7,8 toneladas.



Figura 21. Martelo hidráulico Indeco HP 12000 (Indeco, 2008)

Os martelos mecânicos são pouco utilizados, apesar de serem menos dispendiosos que os martelos hidráulicos e de não necessitarem de instalação hidráulica adicional. No entanto, os martelos hidráulicos apresentam um melhor rendimento e as empresas de demolição adoptam, geralmente, pelo martelo hidráulico. O processo de funcionamento do martelo mecânico consiste no armazenamento de energia potencial que é depois subitamente libertada, produzindo o impacto do pistão no material a demolir (Fueyo, 2003).

3.2.4.3 Martelo pilão

Esta técnica de demolição consiste em destruir o betão ou outro material por impacto de um martelo de grande massa que é deixado cair de uma altura que varia consoante o tamanho do equipamento. Este martelo pode introduzir ao material a fragmentar uma energia de impacto por pancada que pode variar de 2000 joules para lajes de 75-150 mm de espessura até 12000 joules para lajes até 80 cm de espessura (Grider, 2006). Os martelos pilão podem ser acoplados a escavadoras hidráulicas, contudo, martelos pilão de maiores dimensões são suspensos em gruas habilitadas para o efeito. Este processo é muito utilizado na demolição de asfalto e de lajes de betão armado até a uma espessura de 800 mm, aproximadamente (Grider, 2006).

Este tipo de martelo é pouco eficaz em betão armado mas possui uma elevada segurança para o operador.

Segundo o fabricante Bobcat (2007), o martelo pilão produzido por este (Figura 22) consegue demolir lajes de betão até 45,7 cm de espessura. Em comparação com os martelos hidráulicos, este tipo de martelo transmite menos vibrações e os níveis de ruído são mais baixos. O peso total do martelo é de 885 kg, sendo que o pilão pesa 517 kg e tem 737 mm de comprimento. O pilão é libertado de uma altura de 96,5 cm e imprime ao material a demolir 20 pancadas por minuto com uma energia de impacto de 4882 joules em cada pancada.



Figura 22. Martelo pilão acoplado a um Bobcat (Bobcat, 2007)

3.2.4.4 Bola de grande massa

O recurso a uma bola de grande massa como método de demolição de edifícios é, actualmente, um processo pouco utilizado, por causa dos impactos ambientais que provoca na área de demolição como ruídos, vibrações ou projecções. Este processo resume-se a suspender uma bola com uma massa variável entre 500 e 5000 kg através de um cabo numa grua modificada para o efeito e que se faz embater no edifício para o demolir (Dijk *et al.*, 2000) (Figura 23). Para levantar a bola para uma altura mais elevada e para controlar a bola, recorre-se a um segundo cabo, que tem a função de segurar a bola

no caso de ruptura do cabo principal. Este processo é indicado para estruturas em betão e alvenaria, no entanto, é pouco eficaz em estruturas de betão fortemente armado. É um método eficaz em estruturas de alvenaria e de betão ligeiramente armado. É um método rápido mas que apresenta algumas desvantagens tais como a necessidade de existir espaço livre e desocupado em redor do edifício a demolir, possui um baixo controlo sobre o processo e sobre as projecções e origina poeiras, ruído, vibrações e fragmentos de grandes dimensões. Este facto de originar fragmentos de dimensões consideráveis obriga a que se recorra a outro processo para diminuir a granulometria desses fragmentos, fazendo assim, com que este método seja monetariamente dispendioso (Brito, 1999).



Figura 23. Demolição com bola de grande massa (Alonso, 2009)

3.2.4.5 Tesouras hidráulicas para betão

As tesouras hidráulicas usadas na demolição de betão armado têm a sua origem no Japão e conseguiram uma grande penetração no mercado das demolições graças às suas vantagens indiscutíveis que irão ser referidas nesta secção (Fueyo, 2003).

Existem no mercado dois tipos de tesouras para demolição de betão, a tesoura de corte de betão e o pulverizador (Figura 24). A primeira funciona por corte do betão, e é constituída por duas mandíbulas, que quando fechadas por potência hidráulica são capazes de produzir a fragmentação do material a demolir. Este tipo de tesouras é

adequado à demolição primária da estrutura, em que o objectivo é colocar toda a estrutura ao nível do terreno (Figura 25). O pulverizador de betão é composto por duas maxilas e funciona por esmagamento podendo ser usado na demolição primária de estruturas ou na demolição secundária.



a)



b)

Figura 24. Tesoura hidráulica para betão: a) tesoura de corte de betão; b) pulverizador de betão.



Figura 25. Demolição primária com tesoura de corte (Alonso, 2009)

Dentro da categoria de pulverizadores existem dois tipos, pulverizadores em que ambas as maxilas são móveis (Figura 26a), e pulverizadores em que uma das maxilas é fixa (Figura 26b). A vantagem dos pulverizadores que possuem ambas as maxilas móveis é

a de poderem ser utilizados tanto em demolição primária como em demolição secundária. A principal vantagem deste sistema consiste no facto de quando se está a realizar a demolição primária do edifício, a mesma máquina e a mesma tesoura podem desde logo proceder à realização da separação dos materiais e diminuição da granulometria dos resíduos, poupando assim o tempo gasto na mudança da tesoura (Fueyo, 2003).



a)



b)

Figura 26. Pulverizadores: a) ambas as maxilas móveis; b) uma maxila móvel e a outra fixa.

Outra característica das tesouras hidráulicas é a rotatividade segundo o eixo do braço da escavadora. O pulverizador apresentado na Figura 26a) possui a capacidade de rodar em torno do seu eixo. Esta capacidade de rotatividade é uma característica muito importante, pois sem ela os esforços de torção transmitidos ao braço da máquina são muito elevados provocando avarias graves no mesmo. É, assim, recomendável o uso de tesouras rotativas na demolição primária de uma estrutura. O dispositivo rotativo das tesouras pode ser livre ou hidráulico, sendo que com um dispositivo hidráulico consegue-se uma maior facilidade de posicionamento e é imprescindível na demolição de estruturas com mais de 12 metros de altura. Durante a demolição secundária e separação de materiais o recurso a tesouras rotativas não é uma prioridade, pois os elementos a fragmentar estão soltos e os esforços transmitidos são praticamente nulos (Fueyo, 2003).

Algumas tesouras usadas na demolição primária dispõem na parte interior das maxilas um dispositivo para o corte de aço, auxiliando os trabalhos de demolição de betão armado no corte das armaduras (Figura 27). Para a demolição de estruturas metálicas é necessário empregar outra tesoura ou outro método de demolição já que este dispositivo é limitado em termos de secção a cortar.

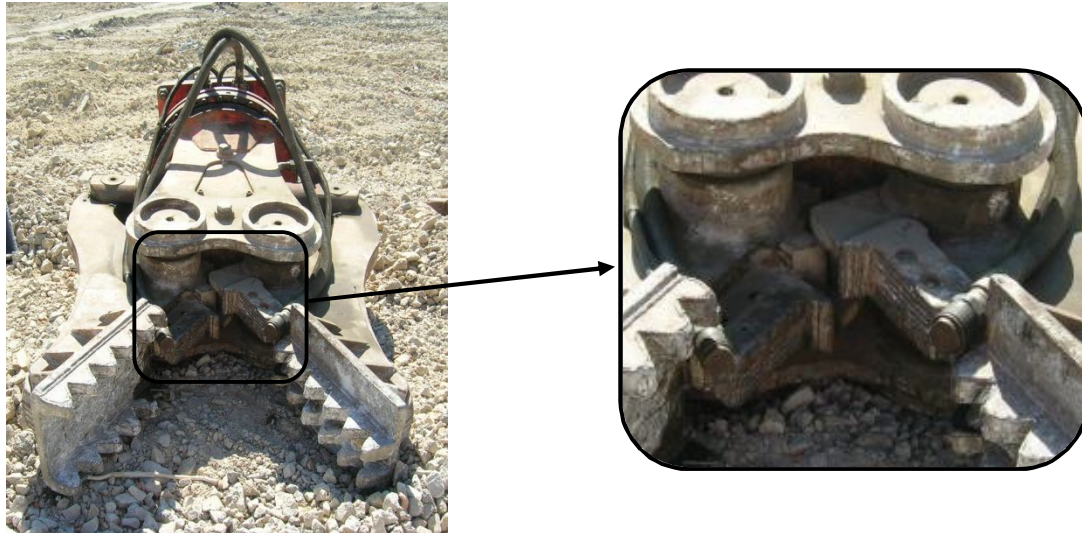


Figura 27. Dispositivo de corte de aço em pulverizador de maxilas móveis.

As tesouras hidráulicas existentes no mercado permitem executar trabalhos de demolição em elementos com grandes secções de betão. A Atlas Copco possui uma gama de tesouras de demolição de betão que podem pesar até 4160 kg e que conseguem cortar secções de betão até 129 cm de comprimento com forças de pressão até 178 ton. A gama de pulverizadores de maxila fixa da Atlas Copco pode pesar até 3460 kg e permitem uma abertura das maxilas até 114,5 cm (Atlas Copco, 2006a).

3.2.4.6 Tesouras mecânicas para betão

As tesouras mecânicas para betão utilizam a potência hidráulica do braço de demolição da máquina para poder fechar a maxila. Enquanto as tesouras hidráulicas possuem um circuito hidráulico independente, as tesouras mecânicas necessitam da força hidráulica do basculante do braço de demolição da máquina (Figura 28). Este tipo de tesoura como também possui uma maxila fixa e não é rotativa, o seu uso é mais

adequado em demolição secundária. O recurso a este equipamento é uma alternativa mais económica às tesouras hidráulicas embora seja mais adequado o seu uso em demolição secundária (Fueyo, 2003).



Figura 28. Tesoura mecânica

3.2.4.7 Tesoura de corte para aço

As tesouras de corte para aço são utilizadas na demolição de elementos metálicos. Em estruturas metálicas apenas existe demolição primária, pelo que não existe nenhuma outra tesoura para demolição secundária. Durante a demolição primária, o corte dos elementos metálicos deve-se realizar de modo a que o resultado da demolição seja elementos com dimensões aceitáveis para seguirem para reciclagem. No caso de estruturas mistas aço-betão ou aço-alvenaria, pode-se usar a mesma tesoura de corte de aço, embora o desgaste das maxilas seja maior (Fueyo, 2003).

As tesouras de corte para aço funcionam hidráulicamente, acopladas a uma escavadora que transmite a potência hidráulica que permite o corte do material (Figura 29). Contudo, também, existe tesouras que funcionam de forma mecânica, do mesmo modo já referido para as tesouras mecânicas para betão. Estas tesouras não são adequadas para a demolição da estrutura, sendo utilizadas no corte de elementos soltos (Fueyo, 2003).



Figura 29. Tesoura de corte para aço (Alonso, 2009): a) pormenor das maxilas da tesoura; b) demolição de uma estrutura metálica

Tal como as tesouras hidráulicas para betão, estas tesouras podem também dispor de rotação para permitir uma maior capacidade de posicionamento da tesoura no corte dos elementos da estrutura metálica. No entanto, como já referido anteriormente, para o corte de elementos soltos que se possam realizar para diminuir o tamanho dos mesmos, não é necessário a tesoura possuir rotação, já que os esforços de torção são praticamente nulos.

3.2.4.8 Tesoura combinada para betão e aço e Multi-processador

A tesoura combinada para betão e aço permite realizar a demolição de estruturas mistas de betão e de aço sem haver a necessidade de trocar de tesoura. Contudo, é uma tesoura que possui mais limitações que as outras tesouras já referidas. Isto é, devido ao facto das suas maxilas possuírem duas zonas distintas, uma para cortar aço e outra para demolir betão, esta tesoura não consegue obter o mesmo rendimento que uma tesoura de corte de aço ou que uma tesoura de corte de betão. Contudo, facilita em trabalhos ligeiros de demolição, por exemplo, na demolição de betão armado permitindo a realização da demolição do betão e o corte das armaduras de reforço.

O multi-processador é um equipamento versátil que permite a troca das suas maxilas consoante o tipo de trabalho que se queira realizar. A diferença para as tesouras combinadas é a possibilidade dos multi-processadores poderem ser equipados com uma

vasta gama de maxilas consoante o tipo de material a demolir. No entanto, certos trabalhos de demolição que são mais especializados podem sair do campo dos multi-processadores, pelo que é necessária a aplicação de equipamentos especializados de demolição primária, demolição secundária ou corte de aço (Fueyo, 2003).

As maxilas são fixas ao corpo universal onde está instalado um ou dois cilindros hidráulicos e o sistema de rotação. As várias maxilas podem ser instaladas ou substituídas graças aos olhais de suspensão e aos batentes ajustáveis das maxilas e do corpo (STET, 2004). As maxilas existentes no mercado para os multi-processadores são as maxilas de corte combinado aço/betão, tal como as tesouras combinadas, maxilas de corte de aço, maxilas de esmagamento (Figura 30a), maxilas para corte de reservatórios em aço (Figura 30b) e maxilas de pulverização primária ou secundária (STET, 2004).



a)



b)

Figura 30. Multi-processador (STET, 2004): a) com maxilas de esmagamento; b) com maxilas de corte de reservatórios em aço

3.2.4.9 Pinças hidráulicas

As pinças hidráulicas são um acessório para máquinas constituído por um corpo central onde são ligadas duas pinças e munidas de rotação 360° sobre o seu eixo (Figura 31). As pinças podem ser utilizadas em trabalhos de demolição ligeira e de desmantelamento, embora possam ser também utilizadas no sector de manipulação dos

resíduos da demolição com a possibilidade de realização de trabalhos de selecção e aproveitamento de resíduos (Fueyo, 2003).

Estas pinças são um acessório antigo, comumente utilizadas na manipulação de troncos de madeira, tubos, etc. A sua adaptação para trabalhos de demolição fez com que as pinças sofressem uma serie de evoluções, quer em termos de robustez como a aplicação da rotatividade (Fueyo, 2003).



Figura 31. Pinça hidráulica utilizada em demolição de edifícios.

Este equipamento é acoplado a máquinas como escavadoras, e recebe accionamento hidráulico por parte da escavadora, transformando a potência hidráulica em pressão que faz com que as pinças se fechem. Esta técnica é muito utilizada em demolição de estruturas antigas constituídas por materiais frágeis e em demolição selectiva onde se realizam trabalhos de selecção e aproveitamento dos materiais provenientes da demolição. As pinças possuem limitações tais como a abertura das pinças e o baixo rendimento em estruturas de betão armado e metálicas. Contudo, associado ao baixo preço de aquisição está a capacidade de este equipamento também oferecer um bom rendimento na demolição de edifícios em madeira. Existe também a possibilidade, tal como outros equipamentos hidráulicos, de pinças mecânicas sem rotação (Fueyo, 2003).

3.2.4.10 Mandíbulas de demolição

Nesta secção abordar-se-á um método de demolição em que o seu objectivo é provocar o esmagamento do material. Este processo é realizado com recurso a um equipamento accionado hidraulicamente e o seu corpo possui a forma de “U” tendo dois pistões em cada ponta das mandíbulas sendo um fixo e o outro accionado hidraulicamente (Figura 32a). Quando o equipamento é accionado, a pressão dos pistões provoca o esmagamento do material a demolir.

O método de aplicação deste equipamento, por exemplo na demolição de um muro de betão armado consiste na introdução de pressão hidráulica ao pistão provocando o esmagamento da parede como está ilustrado na Figura 32b). O processo é repetido várias vezes ao longo do muro até que este esteja completamente demolido.



Figura 32. Dispositivo de esmagamento (Tyrolit, 2009): a) Mandíbulas de demolição; b) Mandíbulas em demolição de muro de betão armado

De acordo com a Tyrolit, fabricante mundial deste tipo de equipamentos, este equipamento pode ser utilizado na demolição de elementos com espessura que pode variar entre os 12 e 30 cm conseguindo introduzir forças de pressão até 30 toneladas. Segundo o mesmo fabricante, este equipamento tem a possibilidade de trocar as cabeças dos pistões consoante o tipo e dureza do material a demolir.

Este método de demolição possui um baixo rendimento e os resíduos resultantes da demolição são de pequenas dimensões. A ausência de vibrações, de ruídos e de poeiras

aliada ao facto de ser um processo de simples execução e que possui controlo da demolição constitui este método como uma alternativa válida a outros métodos de demolição. Esta técnica de demolição apesar de ter um baixo rendimento, possui uma grande aplicabilidade em locais de difícil acesso ou com pouco espaço disponível. No entanto, como já referido anteriormente este método está limitado a elementos com 12 a 30 cm de espessura. Outro inconveniente é a superfície de corte resultante, pois apesar de ser um método de demolição controlável, a superfície de corte pode ser bastante irregular variando com a experiência dos operadores do equipamento. Durante a demolição de elementos de betão armado, este equipamento provoca um efeito nulo nas armaduras de reforço pelo que é necessária a aplicação de outros equipamentos no corte das armaduras de reforço. Uma desvantagem presente neste método é a necessidade de haver dois operadores a controlar este dispositivo durante o trabalho pois possui um peso algo elevado para um operador só (47 kg).

3.2.5 Demolição por rebentamento interior

Nesta secção irá se descrever dois métodos de demolição por rebentamento interior. Ambos os métodos consistem em produzir tensões de tracção no betão a partir do seu interior através da aplicação de um dispositivo em furações previamente realizadas no elemento a demolir, com diâmetro e profundidade pré-definidas. Esse dispositivo, por sua vez, vai instalar tensões de tracção no betão provocando a sua rotura (Figura 33). O rendimento deste método depende em muito da posição, da profundidade e da orientação da furação realizado no elemento a demolir (Fueyo, 2003). A diferença entre os dois métodos de demolição por rebentamento interior reside no dispositivo que instala as forças de tracção no elemento, no entanto, a filosofia do método é a mesma.

Um dispositivo usado neste método de demolição é a cunha hidráulica, cujo método de funcionamento consiste na introdução de duas contra-cunhas num buraco previamente realizado no elemento a demolir, e em seguida é aplicada pressão hidráulica numa cunha sobre as duas contra-cunhas. Este sistema de cunha e contra-cunhas vai introduzir forças de tracção no material e provocar a sua fragmentação. No sector da

demolição de edifícios este dispositivo é, normalmente, denominado como “Darda”, derivado a ser o nome do seu fabricante. Este equipamento é accionado de forma hidráulica, ou seja, é ligado através de mangueiras a um grupo hidráulico e este, por sua vez, fornece pressão hidráulica ao dispositivo que faz com que o sistema de cunhas expanda. O sistema de cunha hidráulica é independente do grupo hidráulico, pelo que este possui uma válvula de controlo que regula a pressão no dispositivo.

Segundo o seu fabricante, este equipamento é capaz de aplicar uma força de tracção no elemento a demolir de 4849 kN, ou seja, 494 toneladas. Os buracos que são realizados previamente para a aplicação do equipamento terão de ser realizados consoante as dimensões do dispositivo que se vai utilizar. Por exemplo, para este modelo mais potente da Darda, teria de se realizar um buraco com 4,5-4,8 cm de diâmetro e no mínimo 55 cm de profundidade (Darda, 2008b)



Figura 33. Fases do processo por acção de uma cunha hidráulica (Darda, 2008b): 1) introdução do dispositivo no buraco; 2) accionamento do dispositivo e início da rotura; 3) finalização do processo

O outro dispositivo utilizado neste método de demolição é os macacos hidráulicos. Este equipamento consiste num sistema de macacos hidráulicos, constituído por um cilindro em que numa face lateral possui vários pistões hidráulicos (Figura 34). Estes pistões vão ser accionados hidraulicamente, tal como acontece na cunha hidráulica, e expandem introduzindo forças de tracção no elemento a demolir, provocando a sua rotura. Tal como o dispositivo analisado anteriormente, este necessita de furações previamente realizadas por equipamentos de perfuração, de maneira que seja

introduzido o macaco hidráulico. Este tipo de equipamento é capaz de introduzir ao elemento forças de pressão até 265 toneladas. Os diâmetros das perfurações exigidas no elemento para introduzir o dispositivo de macacos hidráulicos devem variar entre os 11 mm e os 18 cm, o modelo de macacos hidráulicos que está a utilizar-se (Tyrolit, 2008).



a)



b)

Figura 34. Macaco hidráulico: a) pistões; b) Macaco hidráulico a fragmentar laje de betão

Este método de demolição possui várias vantagens tais como a ausência de ruídos e de resíduos de demolição e a inexistência de vibrações. O controlo da demolição está condicionado pelo número de furações e o espaçamento entre elas que se realiza. Isto é, quanto menor for o intervalo entre furações e maior o seu número, mais preciso é a linha de rotura do material e obtém-se um maior controlo da demolição. Outro factor que abona em favor deste tipo de demolição é o facto de ser uma técnica que se adapta bem em locais que sejam de difícil acesso. No entanto, além destas vantagens, o método também possui algumas limitações como, por exemplo, a necessidade de recorrer a outros equipamentos para a realização das furações e se o espaçamento entre os furos realizados for muito vasto origina pouco controlo da rotura do elemento.

3.3 Processos Térmicos

Os processos térmicos de demolição são, normalmente, utilizados como métodos complementares ou auxiliares durante a demolição de um edifício no corte de armaduras de reforço ou armaduras de pré-esforço (Manning, 1991). A temperatura de fusão do aço ronda, numa liga de aço normal, os 1600 °C.

O recurso a processos térmicos para realizar o corte de betão é pouco comum, pois são utilizados com pouca frequência na demolição de estruturas ordinárias e requerem equipamentos capazes de gerar temperaturas mais altas que uma mistura de oxigénio com acetileno. Algumas aplicações de processos térmicos tendem a vir ser algo especializadas, como a remoção de betão em centrais nucleares ou em estruturas onde o acesso é restrito (Manning, 1991).

De acordo com Manning (1991), os processos térmicos para demolição de estruturas podem ser divididos em três grupos:

- a. Perfuração e corte térmico utilizando maçarico (chama a alta temperatura), plasma ou laser;
- b. Remoção de betão por aquecimento eléctrico das armaduras de reforço;
- c. Remoção de betão de superfície por aplicações directas de calor.

Os equipamentos que podem ser utilizados num processo térmico de corte de betão são o maçarico, a lança térmica ou um dispositivo de corte com laser. De seguida são descritas as técnicas e os equipamentos utilizados, assim como as técnicas de fragmentação de betão por aquecimento das armaduras de reforço e aplicação de calor ao betão.

3.3.1 Maçarico

O maçarico é um dispositivo capaz de produzir uma fonte de calor de alta temperatura capaz de fundir o material. Esta tecnologia começou por se aplicar ao corte de materiais como o aço, mas foi adaptada ao corte de betão armado (Manning, 1991). Usualmente, este método é denominado da indústria das demolições por método

oxicorte. Este método consiste na combinação de dois gases, o oxigénio e o acetileno. Contudo o acetileno pode ser substituído por outro gás como o gás propano, que é um gás mais económico e menos perigoso. O acetileno é um gás muito sensível no seu manuseamento. O oxigénio funciona como alimentador da combustão do outro gás. Na Figura 35 está representado um maçarico de oxicorte que realiza a mistura de oxigénio com gás propano. A mistura destes dois gases e consequente combustão provoca uma chama de cor azulada capaz de atingir os 2000 °C, suficiente para conseguir fundir o aço. Assim que o material entre em ponto de fusão aumenta-se o caudal de oxigénio através de uma torneira no dispositivo que realiza a mistura dos dois gases, provocando um efeito de “sopro” sobre o material fundido realizando-se assim o corte do material. Com este método consegue-se cortar peças até 130 cm de espessura com uma largura de corte entre 3 e 4 cm (Brito, 1999). Para um maior rendimento pode-se iniciar o corte em furos previamente realizados no material.



Figura 35. Maçarico oxicorte: a) botija pequena de gás propano e botija grande de oxigénio; b) dispositivo que realiza a mistura dos dois gases e bico

O maçarico como dispositivo de corte de elementos de betão permite não só cortar o betão assim como as armaduras de reforço presentes no mesmo. É também um método utilizado no corte de elementos de betão pré-esforçado onde evidencia um bom rendimento. Este método demonstra ser um processo de corte rápido para elementos

com espessura até 20 cm. À medida que a espessura dos elementos vai aumentando, o método vai perdendo rendimento, chegando a uma altura em que a opção por outro tipo de processo é o mais adequado e vantajoso para a demolição. A superfície de corte do elemento provocada pelo processo é bastante precisa e as propriedades do material próximas dessa mesma superfície não são alteradas. Além das vantagens enunciadas, este é um método que possui um operador especializado pois o risco é elevado e durante o processo de corte são libertadas poeiras e fumos, assim como material incandescente proveniente da combustão do material. Caso se pretenda obter um melhor rendimento no início do corte, deve-se realizar previamente um furo para uma melhor ignição do maçarico.

3.3.2 Corte com Plasma

O plasma é considerado o quarto estado da matéria, consistindo numa mistura de electrões, iões, e partículas neutras embora globalmente seja electricamente neutro. O grau de ionização do plasma é a proporção de átomos que perderam (ou ganharam) electrões, e no caso de plasmas térmicos que é o que interessa para este trabalho, este grau é controlado pela temperatura. A tecnologia plasma consiste na criação de um arco eléctrico sustentado pela passagem de corrente eléctrica através de um gás num processo idêntico a uma descarga eléctrica. Como a resistividade eléctrica presente em todo o sistema gera uma quantidade significativa de calor, o qual retira electrões das moléculas do gás, produz um fluxo de gás ionizado ou plasma (Gomez *et al.*, 2009).

De acordo com Narimanyan (2009), o processo de corte de um material com recurso a um dispositivo de plasma ocorre como resultado da fundição/vaporização do material, provocado por um fluxo de plasma a alta temperatura. Foi demonstrado por este mesmo autor que durante o corte, o material sofre várias alterações como encurtamento, tensões residuais, modificações químicas e deformações mecânicas.

De acordo com ensaios realizados por Dzur (2007), demonstrou-se que com este processo térmico consegue-se cortar elementos de betão armado com espessura até 20 cm.

Este método, como processo de demolição de elementos de betão armado possui um bom rendimento, conseguindo ser até quatro vezes mais rápido que o maçarico (Dijk *et al.*, 2000).

Nutsch *et al.* (1999) realizou modificações num dispositivo de corte por plasma de modo a obter uma máxima transferência de calor aos elementos de betão e simultaneamente uma máxima velocidade de forma a expelir o material fundido. Estas modificações consistiram no uso de nitrogénio puro como gás presente no sistema e modificações na ponta e no cátodo e optimizações em parâmetros de trabalho. Deste modo, conseguiu-se obter um fluxo de calor máximo no betão na ordem dos 6727°C (Figura 36). Segundo este mesmo autor, um jacto de plasma alimentado por 35 kW de corrente eléctrica consegue cortar uma parede de betão com 15 cm de espessura com uma velocidade de 40 mm/min.

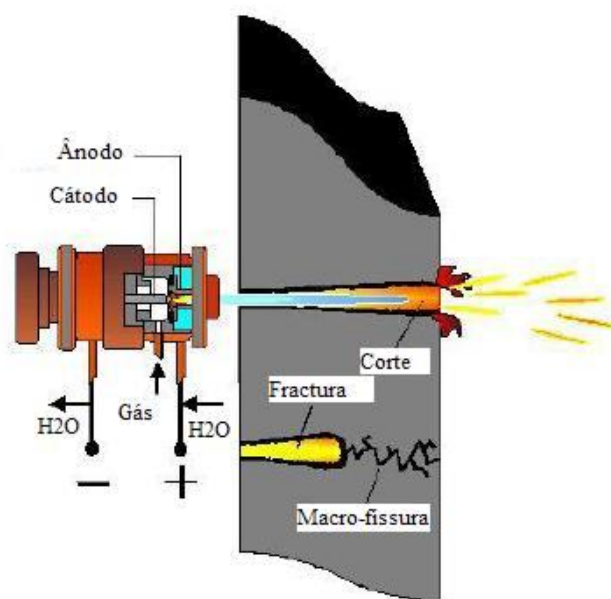


Figura 36. Esquema do processo de corte por tecnologia plasma (Nutsch *et al.*, 1999)

Analisando este processo, pode-se concluir que é um método com grande eficácia e rapidez entre os processos térmicos no corte de betão armado e pré-esforçado, permitindo a realização do corte no material em todas as direcções com grande precisão e realizando um óptimo acabamento na superfície de corte. No entanto, este método é muito caro devido ao seu elevado consumo de energia eléctrica e, por isso, é um método

pouco utilizado. É um método que produz escorrimentos de material fundido e libertação de fumos durante o corte. Devido a ser um método com um grau de especialidade elevado, o seu operador também deve ser especializado pois existe sempre o risco de electrocussão devido a ser um método com elevado consumo de energia eléctrica.

3.3.3 Lança térmica

Esta técnica de corte tem sido usada, tradicionalmente, como método de corte para elementos metálicos, no entanto, após a segunda guerra mundial esta técnica sofreu um desenvolvimento tecnológico aumentando o seu poder de corte, podendo ser aplicada ao corte de betão (Wang *et al.*, 2004).

O método de processamento do corte com lança térmica consiste numa agulheta na qual se adapta, por um lado um dispositivo para alimentação com oxigénio, e por outro, um tubo de aço de maior ou menor comprimento que aloja no seu interior varetas de aço. Assim, acontece uma reacção exotérmica entre o oxigénio, que é o comburente, e as varetas de aço que são o material combustível (Figura 37). Esta reacção de combustão vai provocar temperaturas na ponta do tubo capazes de fundir o betão (Santamaria, 2009a). Esta reacção pode atingir temperaturas até 4000 °C e tem vindo a ser utilizada tanto para a demolição global como para a demolição parcial ou para tarefas de reabilitação (HKBD, 2004).

Neste processo, o oxigénio pode ser conjugado com o acetileno provocando uma temperatura máxima na ponta de 3260 °C. Se conjugado com o gás propano pode alcançar uma temperatura máxima na ponta de 2850 °C. Por outro lado, se for conjugado com gás natural pode atingir uma temperatura máxima de 2630 °C (HKBD, 2004). A escolha do gás a conjugar com o oxigénio deverá ser efectuada de acordo com a espessura e tipo de material a cortar.



a)



b)

Figura 37. Lança térmica (Santamaria, 2009a): a) interior da lança; b) lança em combustão

Este processo de corte de materiais com recurso a lança térmica permite, assim, cortar elementos de betão armado e pré-esforçado até 100 cm de espessura. É possível aplicar este equipamento em ambiente subaquático e o seu processo de corte altera pouco as propriedades do material próximo da zona de corte. Torna-se importante referir que a face posterior ao corte do elemento de betão terá de estar livre para a escória escorrer livremente. O processo de corte apresenta irregularidades, ao contrário do processo de perfuração.

De acordo com Wang *et al.* (2004), esta técnica comparada com os processos mecânicos de demolição apresenta algumas vantagens tais como a facilidade de manuseamento, pouco custo de investimento, perfuração precisa, ausências de ruídos e vibrações durante o corte, corte de betão e elementos metálicos, operação em espaços reduzidos e a não danificação mecânica de partes da estrutura que sejam para preservar. Como desvantagens, produz uma grande quantidade de fumos contaminados e escórias de elevada temperatura que restringem o ambiente de trabalho e requerem um cuidado especial.

3.3.4 Corte a laser

O equipamento de corte a laser consiste num processo muito usado no corte de metal e betão pois é um processo rápido, com muita precisão e permite um bom acabamento. De acordo com Arif *et al.* (2009) o método de corte consiste no uso de um gás, como por exemplo o dióxido de carbono (CO_2), para provocar reacções exotérmicas,

originando grande quantidade de energia. É esta energia que é utilizada para cortar o betão. Recentemente, foram realizados ensaios onde foi desenvolvido uma nova técnica de corte a laser capaz de cortar elementos de betão com espessura até 30 cm usando 1kW de energia (Crouse *et al.* (2002), citado por Crouse *et al.* (2004)). É uma técnica que realiza várias passagens utilizando laser de baixa densidade em que as escórias resultantes solidificadas são removidas mecanicamente entre cada passagem.

Os lasers de dióxido de carbono (CO₂) são muito utilizados no corte de materiais duros pois possuem um grande comprimento de onda (10,6 m) e a sua potência média é de 1 MW (Gahan, 2002). O raio laser consiste então, num sistema de luz incidindo sobre um orifício de pequeno diâmetro, promovendo uma grande quantidade de energia concentrada capaz de fundir metal ou betão (Nakagawa, 1994).

Os autores Crouse *et al.* (2004) compararam dois tipos de laser no corte de elementos de laje de betão (Figura 38). Os lasers comparados neste ensaio foram o laser de dióxido de carbono e o laser de diodo. Este último também denominado por laser semiconductor é geralmente muito pequeno e usa pouca energia, no entanto, emite um raio laser de cor vermelha com comprimento de onda entre 0,630 e 0,680 m (Gahan, 2002). Durante o ensaio de Crouse *et al.* (2004), os elementos de laje de betão com as dimensões de 150×150×45 mm foram então submetidos à acção de corte pelos raios lasers. Ambos os lasers foram regulados de modo a emitir uma densidade de energia de 1,0-1,1 kW/cm². As passagens do laser foram realizadas a uma velocidade de 2 mm/s e entre cada passagem era retirada a escória solidificada através de um dispositivo mecânico. A forma do raio proveniente do laser de diodo tinha a forma rectangular com uma área constante de 12,8 mm², enquanto o raio do laser CO₂ tinha forma circular com diâmetro de 11 mm. Os resultados podem ser observados no gráfico da Figura 39.



Figura 38. Elementos de laje de betão submetidos a corte com laser (Crouse *et al.*, 2004): a) laser CO2 e 94 passagens; b) laser de díodo e 74 passagens

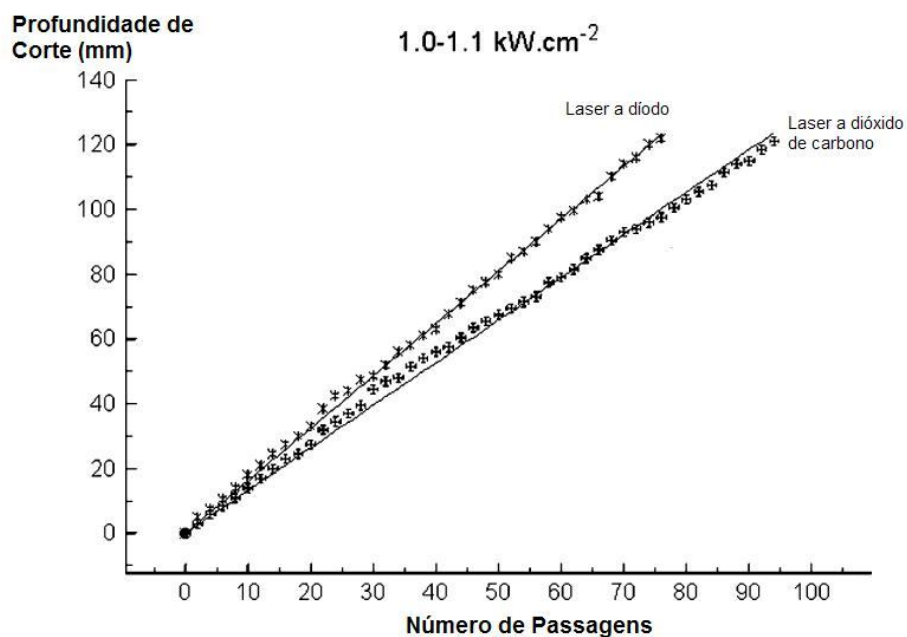


Figura 39. Relação entre o número de passagens e a profundidade de corte. Adaptado (Crouse *et al.*, 2004)

Em ambos os provetes foi realizado um corte com 120 mm de profundidade, o que permite retirar que o laser CO₂ realiza um corte de 1,3 mm de profundidade por cada passagem enquanto o laser a díodo um corte de 1,6 mm de profundidade por cada passagem. Assim, para contributos práticos conclui-se que o laser a díodo é mais eficiente que o laser CO₂ no corte de betão (Crouse *et al.*, 2004).

O corte de materiais com recurso a laser permite realizar um corte muito preciso com ausência de ruídos e vibrações, e é um método rápido. No entanto, como se usa uma grande quantidade de energia nestes equipamentos é necessário proceder ao uso de equipamentos de segurança contra acidentes eléctricos por parte do operador deste tipo de equipamentos. É um processo caro pois o operador terá de ser especializado e o consumo de energia é elevado.

3.3.5 Aquecimento das Armaduras

Este método consiste em ligar ambas as extremidades das armaduras de reforço do elemento de betão armado a terminais eléctricos, promovendo a passagem de corrente eléctrica pelas armaduras de reforço. As barras de aço da armadura começam a aquecer devido ao efeito de Joule, e aumentam de volume perdendo-se a aderência entre o betão e a armadura dando-se, conseqüentemente, a fragmentação do betão (Nakagawa, 1994).

O mesmo autor Nakagawa (1994) refere ainda, que foi utilizado este método para realizar um buraco numa parede de um poço em betão armado. As armaduras de reforço tinham 22 mm de diâmetro e um comprimento de 20 cm tendo sido aplicada às barras de aço da armadura de reforço corrente eléctrica de 1000 amperes durante 10 minutos. As barras de reforço registaram uma temperatura superior a 400 °C, durante a fragmentação do betão.

Sendo um método mais utilizado para reabilitação de estruturas, tem como vantagens a fácil aplicação a elementos onde o acesso é difícil e limitado. O caso referido anteriormente por Nakagawa (2004) é exemplo disso, pois a realização de um buraco numa parede de um poço possui dificuldades e limitações de acesso.

Sendo mais um método de enfraquecimento do que propriamente de demolição, é necessário o recurso a outros métodos para remover a estrutura enfraquecida. Ou seja, o aquecimento das armaduras de reforço apenas rompe com a aderência entre o betão e os varões de aço, ficando a estrutura enfraquecida, sendo necessário recorrer a outro processo para remover o restante betão que não se fragmentou.

Apesar de este método consumir quantidades elevadas de energia eléctrica, o factor principal que provoca a deterioração do betão é a temperatura sendo, por isso, considerado como processo térmico.

3.3.5.1 Aquecimento induzido das armaduras

O princípio deste método é o mesmo do método anterior, no entanto neste o processo de aquecimento das armaduras é realizado de forma indirecta por um sistema de aquecimento induzido (Figura 40).

O princípio geral de um sistema de aquecimento induzido consiste no aquecimento de um condutor eléctrico localizado num campo magnético alternado por um freio através de perdas de carga criadas no condutor quando é alternado o campo magnético (Nakagawa, 1994). Este sistema foi implementado na fragmentação de betão armado. Para a realização deste método é colocada uma bobina na superfície do elemento de betão armado a fragmentar ao qual é aplicada uma elevada frequência alternada com uma frequência média, de forma a aquecer, indirectamente, as armaduras de reforço. Em relação ao sistema anterior este é mais vantajoso, pois dispensa o trabalho preparatório na colocação dos terminais eléctricos e permite um aquecimento das armaduras sem elas estarem expostas. Permite assim, fragmentar elementos irregulares de betão armado ou de difícil acesso.



Figura 40. Aquecimento induzido das armaduras de reforço (Lauritzen, 1994)

3.3.6 Aplicação de um arco voltaico

O processo de aplicação de um arco voltaico num elemento de betão armado consiste na introdução de uma descarga eléctrica entre dois eléctrodos de carbono envolvendo o elemento a demolir, ultrapassando o isolamento dieléctrico do betão. Deste modo, consegue-se atingir temperaturas no interior do elemento de betão superiores a 8000 °C, provocando a sua fusão e, consequente deterioração.

Este método apesar de se adaptar bem a qualquer tipo de superfície e de ser silencioso e não provocar ruídos ou poeiras, não se consegue controlar a área de corte podendo danificar-se áreas de betão que não se pretendia danificar. Outro aspecto de referir é o facto de levar à produção de fumos e o perigo existentes de electrocussão (Brito, 1999).

3.3.7 Aplicação de microondas

As microondas são ondas electromagnéticas do tipo SHF (Super High Frequency). A aplicação deste tipo de ondas em elementos de betão armado serve para remover o betão deteriorado na superfície da estrutura, como também para realizar furações. Este método de fragmentação de betão por aplicação de microondas consiste em expor o betão a este tipo de ondas e sendo o betão material dieléctrico, provocará um aumento de temperatura no elemento. As águas presentes no betão vão volatilizar, destacando-se o betão superficial (Jerby, Thompson, 2004).

Caso se pretenda a realização de furações no elemento de betão com recurso a microondas, é necessário que o dispositivo possua uma saída com dimensões inferiores ao comprimento das ondas. Assim, a energia libertada pelas microondas é concentrada apenas num ponto, criando uma elevada temperatura capaz de fundir o betão apenas naquele ponto (Figura 41), criando uma furação no elemento de betão (Jerby, Thompson, 2004).



Figura 41. Dispositivo de Microondas (Jerby, Dikhtyar, 2001): a) Equipamento de microondas; b) Perfuração efectuada por microondas num elemento de betão

É uma técnica rápida e que não liberta fumos ou poeiras e não produz vibrações, no entanto apresenta algumas desvantagens como a necessidade de cortar as armaduras de reforço com recurso a outro método de corte ou o elevado custo associado à aplicação deste processo.

3.4 Processos Abrasivos

Nos processos a seguir descritos, o aspecto fundamental de funcionamento prende-se no facto de a demolição dar-se por abrasão do material provocada por materiais sólidos ou líquidos. Os materiais sólidos usados na abrasão são de elevada rigidez como, por exemplo, o diamante ou o carborundo. Outra forma de provocar a abrasão é através da pressão da água a embater no material.

Estes processos são mais utilizados em demolição parcial no âmbito da remodelação e da reabilitação de edifícios devido ao facto de serem demasiado caros para serem empregues em demolição total.

Neste capítulo irá abordar-se as técnicas de demolição por abrasão mais correntes, fazendo-se uma descrição das técnicas e dos equipamentos utilizados.

Os métodos de demolição que serão alvo de uma descrição neste capítulo serão o corte de elementos de betão com ferramentas diamantadas ou com recurso a água sob alta pressão.

3.4.1 Corte diamantado

O diamante industrial consiste num material super-abrasivo utilizado no corte de materiais tais como granitos, betão, asfalto, vidro, plástico, madeira ou metal. Contudo, a maior aplicação do diamante industrial é a serragem de materiais de construção como o granito ou o betão. O consumo anual de diamante industrial chega às 250 toneladas, com destino para o sector de corte, perfuração, serragem, trituração e polimento de materiais (Sung, 1999).

O diamante industrial utilizado no corte de materiais é o resultado de submeter o carbono a um processo de cristalização a elevada temperatura (2000 °C) e pressão (70 ton/cm²) (Fernandez, 2009).

Existem três tipos de corte diamantado, o corte com disco diamantado, o corte com fio diamantado e a carotagem (Sung, 1999). Existe também outra variante do corte diamantado, que é o corte com recurso a uma serra manual constituída por uma corrente diamantada.

Estes equipamentos de corte diamantado são constituídos na sua parte activa por grãos de diamante industrial retidos numa matriz normalmente metálica.

Nesta secção abordar-se-ão os equipamentos e ferramentas usadas no corte diamantado.

3.4.1.1 Disco diamantado

O disco diamantado consiste num disco metálico em que a sua periferia é constituída por grãos de diamante. O disco diamantado funciona acoplado a um motor, que pode ser eléctrico ou a diesel e que faz rodar o disco. Comercialmente, existem discos que podem atingir os 3500 mm de diâmetro (Diamant Boart, 2008). É importante referir que durante o processo de corte o disco deve ser arrefecido com água, devendo-se ter cuidado durante o processo de refrigeração de um disco accionado por motor eléctrico. Os discos podem ser accionados mediante potência eléctrica, potência hidráulica ou por combustível, como gasolina ou diesel. O processo de corte com disco diamantado é usado no corte de pavimentos, existindo equipamentos apropriados para

este tipo de corte. Também podem ser usados no corte de paredes, existindo equipamentos próprios para o corte vertical nas paredes (Tyrolit, 2008).

Actualmente, existe no mercado discos de corte que trabalham a seco, em que é dispensado o uso de água para refrigeração.

A aplicação de discos diamantados no sector das demolições pode-se realizar em combinação com outros sistemas de demolição. Alguns trabalhos em que se pode empregar o corte com disco diamantado em combinação com outros sistemas são, por exemplo, a demolição parcial de lajes, soleiras, muros ou outros elementos em betão armado, a abertura de juntas de dilatação em elementos de betão armado, a abertura de buracos para elevadores, escadas, instalações em lajes de betão armado e a abertura de buracos de ventilação ou de instalações em muros de betão armado (Fueyo, 2003).

No entanto este método de demolição também pode ser utilizado como sistema único de demolição, como na demolição de estruturas formadas por lajes, vigas e pilares, realizando descontinuidades nos elementos e obtendo peças autoportantes, sendo retiradas posteriormente por equipamentos de elevação de cargas. O método também pode ser utilizado na demolição de muros de betão armado, criando peças com cortes verticais e horizontais que são retiradas com equipamentos de elevação de cargas (Fueyo, 2003). Dentro de um disco diamantado, pode-se distinguir dois elementos fundamentais: o suporte de aço e a parte diamantada (Figura 42). O suporte é formado por uma placa circular em aço temperado de alta qualidade de 1 a 3 mm de espessura. No centro da placa de suporte existe um buraco circular de 16 a 30 mm de diâmetro que serve para instalar o disco no equipamento de corte (Fueyo, 2003).

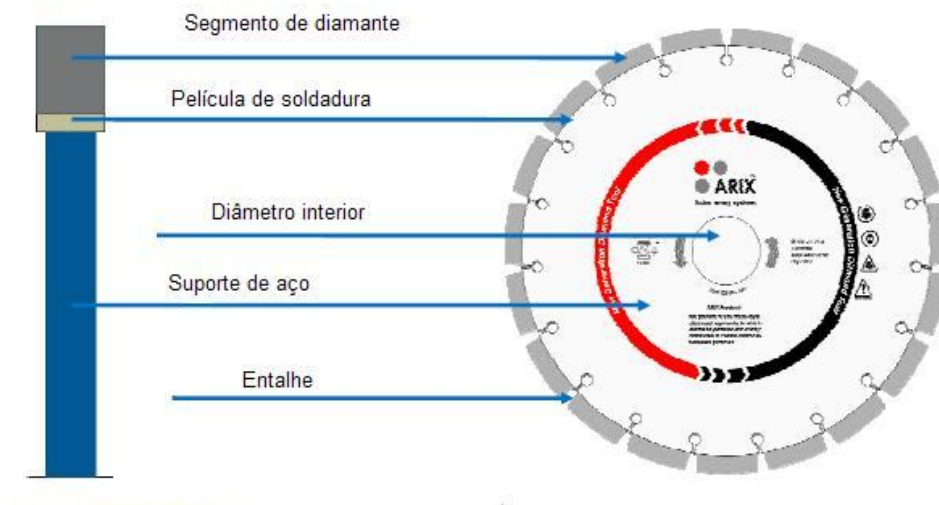


Figura 42. Composição de um disco de corte diamantado. Adaptado (Fernandez, 2009)

A periferia dos discos é composta por uma camada de diamante com uma espessura superior à do suporte de aço para evitar danos no mesmo durante o corte. Esta camada de diamante pode ser segmentada ou contínua. Na figura acima pode-se observar um disco em que a periferia é segmentada por entalhes. Estes entalhes servem para a água circular durante o corte permitindo maior eficácia durante a refrigeração do disco. Nos discos de corte a seco, os entalhes também servem para aumentar a refrigeração do disco permitindo a passagem de ar (Fueyo, 2003).

Segundo Fernandez (2009), os factores que influenciam o corte diamantado são a refrigeração, a composição do betão e as armaduras. Na composição do betão é importante averiguar o tamanho dos agregados, o tipo de areia e a sua compactação. Deve também ser feita uma análise à quantidade e tipo de armaduras de reforço presentes no betão. A análise destes factores deve ser utilizada na escolha do tipo e dimensões do disco a empregar no corte.

Como se pode verificar na Figura 43, a parte diamantada de um disco é composta por várias camadas de grãos de diamante. Os grãos de diamante estão suportados por uma liga metálica de baixa dureza. Durante o processo de corte do material, os pequenos grãos de diamante vão-se fissurando e rompendo, deixando a liga metálica exposta. Como esta liga é de baixa dureza, ela rapidamente se desgasta, deixando novos grãos de diamante expostos ao processo de abrasão (Fueyo, 2003).

Na Figura 44 está representado um equipamento de corte diamantado de pavimento (Figura 44a) e um equipamento de corte diamantado de parede (Figura 44b).

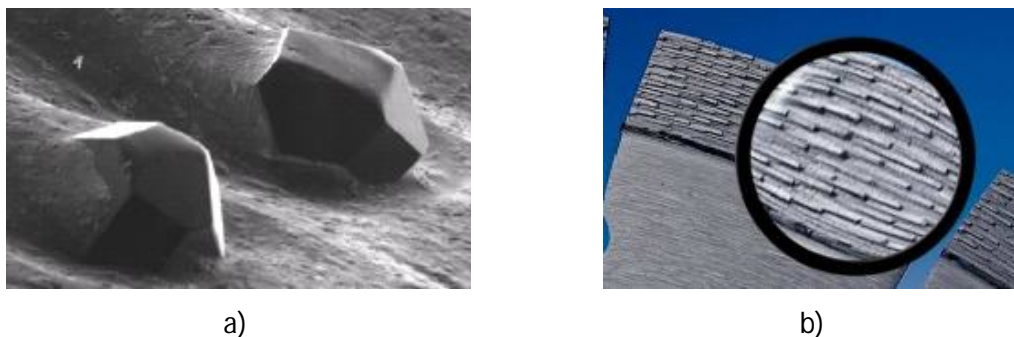


Figura 43. Parte diamantada de um disco (Fernandez, 2009): a) grãos de diamante; b) camadas de diamante

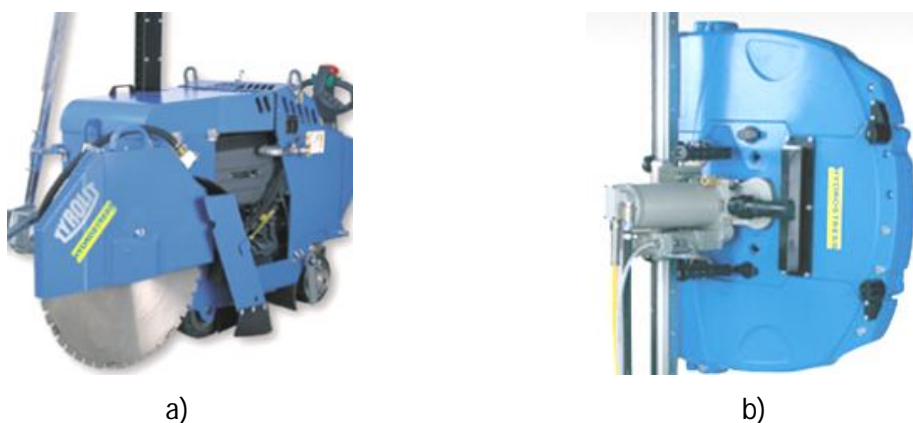


Figura 44. Equipamentos de corte com disco (Tyrolit, 2008): a) disco de pavimento; b) disco de parede

Através do contacto com empresas de demolição que utilizam este tipo de equipamento na realização de aberturas em lajes ou paredes de betão armado, foi possível registar que um disco de corte diamantado a ser utilizado no corte de betão armado, em geral, têm uma capacidade para cortar até 40 m² (área de corte) de secção. Ao atingir esta área de corte torna-se necessário proceder à troca do disco.

Este processo de corte oferece vantagens tais como uma menor produção de ruído e vibrações durante o trabalho, ou seja, menor probabilidade de aparecimento de micro fissuras. Este método de trabalho provoca uma menor quantidade de material eliminado

associado a um melhor acabamento da superfície de corte. Pode ser utilizado no corte de betões fortemente armados e betões pré-esforçados com uma maior rapidez de execução. No entanto, o diâmetro do disco limita a espessura de corte a realizar.

Além dos equipamentos de corte com disco para pavimentos e paredes, existe também, equipamentos de corte com disco diamantado manuais, ou seja, equipamentos portáteis e manuais alimentados por energia eléctrica, por potência hidráulica, pneumática ou por combustível (Figura 45).



Figura 45. Equipamento portátil de corte com disco diamantado (Husqvarna, 2009)

3.4.1.2 Fio diamantado

O corte com recurso a fio diamantado é geralmente utilizado em granitos, mármore ou betão (Filgueira, Pinatti, 2002). Este processo é mais recente que o processo de disco diamantado, mas é o processo com mais rendimento (Sung, 1999). Este método de corte consiste num grupo electro-hidráulico que transmite pressão e caudal de óleo para movimentar os elementos que fazem mover o fio (Figura 44b). Esta pressão e caudal de óleo são provocados por uma bomba hidráulica accionada por uma fonte de energia eléctrica. Este grupo é normalmente instalado sobre um carro para facilitar o seu transporte.

O fio é composto por pérolas diamantadas constituintes de um cabo de aço de alta resistência com 5 mm de diâmetro e 10 m de comprimento (Figura 44a), podendo ser estendido até 50 m em casos especiais. O número de pérolas presentes no fio diamantado pode variar entre 30 e 50 pérolas por metro linear (Fueyo, 2003). O processo

de abrasão das pérolas de diamante no material provoca o seu corte. As pérolas diamantadas são fabricadas fixando uma camada de diamante à volta de um suporte cilíndrico em aço (Diamant Boart, 2008). Como no processo do disco diamantado, no fio diamantado é também necessário realizar refrigeração do fio durante o corte existindo, no entanto, fios diamantados que trabalham a seco.



a)



b)

Figura 46. Equipamento de corte com fio diamantado: a) Fio diamantado (Rule *et al.*, 2003); b) Corte de muro com fio diamantado (Santamaria, 2009b)

Foi demonstrado num processo de corte realizado com fio diamantado (Rule *et al.*, 2003) num reactor de fusão de teste Tokamak que através deste método é possível cortar grandes estruturas de aço em conjunto com betão com uma eficácia superior que a técnica de corte por plasma, quer em termos de segurança de trabalho como em performance de corte.

Os rendimentos horários e vida do fio dependem das características do material a cortar e do diâmetro e número das armaduras de reforço que são seccionadas durante o corte. No entanto, Fueyo (2003) estabelece que os rendimentos aproximados para um fio diamantado são de 3 m²/h a 5 m²/h. A velocidade a ser aplicada ao fio diamantado, no âmbito da demolição de estruturas é, normalmente, próxima de 40 m/s.

Os factores que influenciam a eficácia de corte com o fio diamantado são a dureza e a resistência à abrasão do material a cortar, assim como as características geométricas do

corte. Deve-se, também, conhecer as características do fio diamantado de modo a obter-se um maior rendimento no corte, como a posição do grupo electro-hidráulico e das roldanas. Estes aspectos associados a uma análise do material a cortar, se forem realizados previamente, permite obter um maior rendimento do processo assim como menos perda de tempo com a instalação dos equipamentos. Outro aspecto que também se deve ter em conta é o posicionamento das furações por onde o fio passa através dos elementos a cortar (Fueyo, 2003).

Através do contacto com empresas de demolição que utilizam este tipo de equipamento na realização de cortes em elementos de betão armado, conseguiu-se registar que um metro linear de fio diamantado consegue, em média, cortar até 1,5 m² de secção de betão armado (área de corte), sendo que cada metro linear de fio diamantado tem um custo de 120 euros, pelo que se torna um método dispendioso.

A realização de cortes em elementos de betão armado por este método possui as mesmas vantagens que a realização do corte com disco diamantado, no entanto, com o recurso ao fio diamantado não há limitações em profundidade de corte, o espaço não é uma limitação, não existe a necessidade de realizar outros cortes nas esquinas, o acabamento é muito preciso e liso, emite baixo ruído e vibrações, a preparação e montagem são rápidas e permite realizar cortes curvos ou circulares com grande eficácia. Como desvantagens, este equipamento apresenta a necessidade da realização de furações com recurso a outros métodos para passagem do fio pelo material e pode ou não ser necessário a refrigeração do fio diamantado.

3.4.1.3 Carotagem

A carotagem é uma técnica de perfuração que permite a recolha de amostras, a abertura de furações em lajes ou vigas de betão armado para passagem de tubagens ou como método complementar na demolição de estruturas.

O equipamento que permite a realização desta técnica denomina-se de caroteadora e consiste num motor eléctrico que provoca a rotação de uma broca oca que possui a sua coroa diamantada. A execução de furações tangentes permite delimitar um bloco de

betão que posteriormente é removido por equipamentos de elevação de cargas ou, simplesmente, deixado cair (Figura 47).



Figura 47. Aplicação da carotagem na realização de aberturas em elementos de betão armado

Ao contrário do que acontece no martelo, com este método não se produz percussão, pelo que não existe probabilidade de aparecimento de fissuras.

A execução de furações com uma carotadora obriga muitas vezes a que o furo seja realizado com precisão, pelo que existe a possibilidade de utilizar carotadoras com guia que permite também a realização de furos inclinados de modo a aumentar a eficácia da furação (Figura 48).



a)



b)

Figura 48. Carotadoras (Husqvarna, 2009): a) carotadora portátil; b) carotadora sob suporte guia

A broca diamantada é accionada por um motor que pode ser hidráulico ou eléctrico, que provoca a rotação da broca. A carotadora possui uma entrada de refrigeração, que

permite a entrada de água para refrigeração ou entrada de ar para refrigeração da broca de corte a seco. A broca é ligada ao motor através de um mandril (Figura 49).

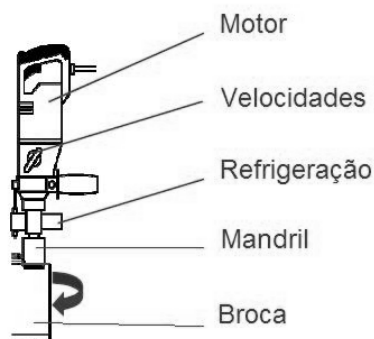


Figura 49. Esquema de uma caroteadora. Adaptado (Velasco, 2009)

As coroas das brocas diamantadas são formadas por uma placa de aço temperado de alta resistência com espessura que varia entre 1 e 3 mm, que forma um perfil circular que pode ir dos 25 mm de diâmetro até ao 950 mm (Tabela 1). Os segmentos diamantados presentes na ponta da coroa (Figura 50) estão ligados por soldadura de prata ou por sinterização sobre o suporte (Fueyo, 2003).

Tabela 1. Dimensões dos segmentos diamantados nas brocas (Fueyo, 2003)

	Mínima (mm)	Máxima (mm)
Altura	5	7,5
Comprimento	5	24
Espessura	3	7



Figura 50. Segmentos diamantados (Husqvarna, 2009)

Antes de se realizar um trabalho de demolição com recurso a este processo, deve-se ter em conta alguns aspectos tais como definir o diâmetro de perfuração, a profundidade do furo e as propriedades mecânicas do material a perfurar tais como a dureza e a sua resistência à abrasão. Caso a profundidade de perfuração seja maior que o comprimento da broca, deve-se aplicar prolongadores específicos para o efeito (Fueyo, 2003).

Como se pode verificar na Tabela 1, a espessura dos segmentos diamantados terá de ser sempre igual ou superior à espessura da placa de aço, de maneira que aquando da perfuração do material não danifique essa mesma placa de aço.

Este método, assim como os outros métodos de corte diamantado, origina baixos níveis de ruído e vibrações evitando assim o aparecimento de micro-fissuras no material aquando da perfuração. A qualidade de corte é também elevada, originando uma superfície lisa. É também um método limpo que não liberta poeiras ou resíduos durante o corte. No entanto, apresenta também algumas desvantagens como a necessidade de se adicionar prolongamentos caso se queira realizar um furo com comprimento superior ao comprimento da broca. É um método que possui maior eficácia se for combinado com outros processos de demolição e não como método único de demolição.

3.4.1.4 Serra diamantada

A serra diamantada é um equipamento de corte que pode ser portátil ou fixo a um suporte guia capaz de cortar elementos de betão armado. Este tipo de equipamento é um

bom complemento para os equipamentos de corte de pavimentos ou de paredes evitando os sobrecortes nos cantos. Permite realizar pequenas aberturas com desenho irregular (Husqvarna, 2009) (Figura 51). A lâmina presente neste equipamento permite realizar os cortes no betão com profundidade até 500 mm a partir de um só lado (Tabela 2). O accionamento da serra diamantada pode ser por potência hidráulica, por energia eléctrica ou por combustível.



Figura 51. Equipamento de corte com serra diamantada (Tyrolit, 2008)

Tabela 2. Dados técnicos de serra diamantada Tyrolit CSH 40 (Tyrolit, 2008)

Profundidade de corte (mm)	400-500
Altura de corte (mm)	85
Velocidade de corte (m/s)	24
Pressão Max. (MPa)	14

3.4.1.5 Corte com discos de carborundo

Este processo de corte é idêntico ao do disco diamantado, no entanto utilizam-se discos constituídos por grãos de carborundo fixos a um ligante de baquelite sendo o conjunto rigidificado com camadas de nylon (Brito, 1999) (Figura 52).

O carborundo é o nome dado comumente ao carboneto de silício. É um material bastante duro e abrasivo, pelo que é utilizado em discos de corte de materiais. A sua

aplicação maior é dada no polimento de pedras, no entanto, também se utiliza no corte de materiais.

Possui as mesmas aplicações que o corte diamantado, sendo menos eficaz em betão armado. Consiste num processo mais barato que os anteriores descritos, mas também mais lento e de desgaste mais rápido.



Figura 52. Disco de corte de carborundo

3.4.2 Hidrodemolição

A hidrodemolição é um método usado principalmente para a remoção de betão deteriorado e consiste em usar jactos de água a alta pressão que vão remover o betão deteriorado deixando intacto o betão saudável rugoso, pronto a receber uma nova camada de betão. A água proveniente do jacto penetra no betão através da superfície porosa e origina pressões internas superando desta maneira a resistência à tracção do betão e extraíndo-se do mesmo (Díaz, 2009). Segundo Hilmeresson (1999), a fronteira entre a camada de preparação e o betão removido é fixada pela potência do motor (geralmente 150 KW) e pelo equipamento usado. Normalmente, a pressão da bomba varia de 250 bar (25 MPa) para uma simples remoção de resíduos até 2500 bar (250 MPa) para descasque e corte de material. O caudal também varia entre 15 l/min e 400 l/min consoante o tipo de trabalho a realizar.

Existem dois métodos de hidrodemolição, um método manual em que se utiliza uma lança para extracções pontuais e em volumes reduzidos de betão (Figura 53a). O outro método é robotizado e consiste na pressurização da água por equipamentos robotizados com sistema de controlo permanente (Díaz, 2009) (Figura 53b).



Figura 53. Hidrodemolição (Díaz, 2009): a) método manual; b) método robotizado

De acordo com Hilmersson (1999), esta técnica tem como vantagens o alto rendimento, a inexistência de danos, a inexistência de poeiras, gases, vapores e escórias, a inexistência de percussões e vibrações, as insignificantes forças de reacção, a vasta gama de aplicações e de equipamentos, a utilização posterior do material removido e a qualidade final da superfície.

Este método de demolição costuma ser utilizado na reabilitação de centrais nucleares, como foi utilizado na central nuclear da Benschel Power Corp. em que o objectivo era realizar aberturas numa cúpula contaminada. Para isso, foram usados aproximadamente 138 MPa de pressão na água para cortar 139 m² (Keller, 2007). Também o Gotthard Tunnel na Suíça foi recentemente reabilitado utilizando uma torre de 11,5 m que suportava um robot da Aquacutter para remover betão danificado (Hilmersson, 2008).

Quanto a limitações existentes neste processo de demolição pode-se referir que o corte de elementos de betão com armaduras de reforço é difícil sendo necessário implementar outro método para corte das armaduras. As fendas presentes nos elementos a demolir podem diminuir o rendimento do processo. O pessoal deve ser especializado e experiente no manuseamento deste tipo de equipamentos.

Quando se planeia utilizar o método de hidrodemolição para reabilitação ou reparação de uma estrutura de betão armado deve-se ter em conta aspectos sobre o material a demolir e o equipamento a utilizar, como por exemplo, a capacidade de pressão da bomba, a resistência do betão, a profundidade de demolição, as dimensões e

espaçamentos da armadura de reforço, as características dos agregados utilizados no betão e o tipo de superfície.

Na Figura 54 apresenta-se um robot de demolição e em que algumas das suas características estão representadas na Tabela 3.



Figura 54. Robot de hidrodemolição Conjet 364 (Anzeve, 2009)

Tabela 3. Dados técnicos de robot de demolição Conjet 364 (Anzeve, 2009)

Comprimento (mm)	3500
Altura (mm)	1500
Largura (mm)	2220
Largura de trabalho (mm)	2660
Altura de trabalho (mm)	2000
Caudal recomendado (l/min)	300
Pressão recomendada (MPa)	120
Peso (kg)	2500

Os robots de hidrodemolição possuem braços articuláveis de modo a poderem aplicar o jacto de água em pavimentos, muros ou paredes e em tectos (Figura 54). Este equipamento é capaz de aplicar ao material a demolir uma pressão máxima de 140 MPa, no entanto, a pressão recomendada de trabalho é de 120 MPa. Para gerar esta pressão, o caudal de água produzido pela máquina é de 300 litros por minuto. Este aspecto é uma desvantagem importante associada a este método, pois exige um grande e constante consumo de água, sobretudo a hidrodemolição robotizada. A necessidade de situar a

bomba de água em local perto do trabalho de demolição é também um inconveniente pois para locais de espaço reduzido é complicada a aplicação desta técnica.

De acordo com Díaz (2009), a utilização desta técnica tem como vantagens a perfeita aderência com que o betão saudável fica para ligar ao novo betão, a armadura de reforço não é danificada sendo que é totalmente limpa de impurezas permitindo uma extracção selectiva do betão danificado e a rapidez do processo associado a uma maior duração das estruturas e, conseqüentemente, um benefício económico.

Em comparação com outros métodos utilizados na reparação de superfícies de betão armado, como os martelos hidráulicos, pneumáticos ou a combustível a hidrodemolição é muito mais adequada e aplicável (Figura 55). Isto porque os martelos ao fragmentarem o betão danificam também a armadura de reforço enquanto a hidrodemolição deixa as armaduras intactas ao mesmo tempo que as limpa (Díaz, 2009).



a)



b)

Figura 55. Comparação de resultados finais (Díaz, 2009): a) com martelo; b) com hidrodemolição

Como já referido anteriormente, este método oferece pouco rendimento no corte das armaduras de reforço presentes no betão armado. No entanto, de forma a aumentar o poder de desgaste da hidrodemolição perante as armaduras, existe a opção de adicionar partículas sólidas como areia com uma granulometria na ordem de 0.5 a 1.5 mm (Brito, 1999) que permite, ainda que com pouco rendimento, o corte de armaduras de reforço sendo, logicamente, um processo mais caro que o processo que utiliza apenas água.

3.4.2.1 Corte com jacto de água

No processo de corte com recurso ao jacto de água, a água é comprimida por uma bomba até pressões superiores a 400 MPa sendo conduzida por tubo onde na ponta a energia estática da água sob pressão é transformada em energia cinética formando um jacto de água que pode atingir velocidades de cerca de 800 m/s à saída do tubo (Momber, 1998) (Figura 56).

Foi realizada uma investigação acerca do comportamento do betão sob acção de um jacto de água (Momber, Louis, 1994), e concluiu-se que a destruição do betão é um processo de fractura mecânica. A interface entre o agregado e a pasta de cimento é o aspecto decisivo para a ocorrência de fractura do betão. Os factores que influenciam o rendimento deste processo são o tipo, o tamanho e a distribuição dos agregados no elemento de betão a cortar.

Visto este processo ser pouco eficiente com as armaduras de reforço do betão armado foi necessário adicionar partículas com características abrasivas. Com a adição dessas partículas, como por exemplo areia ou granalha de aço, no jacto de água aumenta-se o poder de corte de uma ampla gama de materiais metálicos e não-metálicos com uma excelente precisão de contorno (Momber, 1998).

Este método de demolição apresenta algumas vantagens tais como a ausência de deformações durante o corte, ausência de calor, de pó e de vibrações, permite a realização de pequenas incisões, perda de pouco material durante o corte, facilidade de operação pelo operador, corte a três dimensões e capacidade de furar o material (Momber, 1998).



Figura 56. Dispositivo de corte com jacto de água (Momber, 2000)

3.5 Uso controlado de explosivos

Para a realização deste método usam-se explosivos, substâncias químicas normalmente comercializadas em estado sólido e que quando iniciados provocam uma reacção rápida e, consequentemente, uma passagem ao estado gasoso. Esta reacção provoca um grande aumento de temperatura e uma forte produção de energia expansiva que vai ser aproveitada para provocar a demolição de edifícios (Gomes, 2000).

O uso de cargas explosivas na demolição de uma estrutura não significa que esta seja demolida única e exclusivamente por explosivos. A demolição de estruturas pelo uso controlado de explosivos implica o uso de outros métodos como processos de preparação antes da demolição propriamente dita (Figura 57). O recurso a demolições manuais ou mecânicas para demolição de interiores e para abertura de furações para aplicação de cargas explosivas são exemplos das várias técnicas utilizadas antes da demolição (Sánchez, 2009).



Figura 57. Preparação da demolição por explosivos com equipamentos mecânicos (Sánchez, 2009)

Segundo Gomes (2000), a demolição de edifícios com recurso ao uso controlado de explosivos é considerado um processo rápido, prático e económico em locais onde as condições físicas e ambientais a propiciem, comparando com os métodos tradicionais mais usados em Portugal como a demolição por fragmentação ou empurre. Isto deve-se ao facto, de os explosivos serem cada vez mais sofisticados devido ao avanço da tecnologia.

Como já referido, em Portugal o uso de explosivos por parte dos empresários de demolição não é comum, talvez devido ao facto de haver poucos profissionais a

trabalharem na área de demolição com recurso a explosivos. Contudo, Portugal é um país onde a construção em altura começou a ser desenvolvida há pouco tempo ao contrário de, por exemplo, no Japão em que os centros urbanos estão completamente esgotados de espaço para construções novas e é necessário demolir edifícios existentes em que a vida útil tenha chegado ao fim para se poder construir. Como em Portugal a construção em altura é escassa e recente, não atingiram ainda o limite de vida útil e por isso ainda não será necessário demolir edifícios de elevada esbelteza. No entanto, nos Estados Unidos o uso de cargas explosivas para demolição de estruturas e desmantelamento de rochas é muito alto, isto é, por cada ano os Estados Unidos consomem em média cerca de 2 milhões de toneladas em cargas explosivas. A maior parte desses explosivos é usado para rebentamento de rochas, sendo o restante para produção de energia e demolição de estruturas (Zukas, Walters, 2002).

Também de acordo com Gomes (2003), os explosivos utilizados nas actividades de engenharia reagem por deflagração ou então por detonação. Em ambos os casos, a reacção tem lugar ao longo de uma camada fina que se vai propagando ao longo de todo o comprimento do explosivo. Quando a velocidade de propagação desta camada é superior à velocidade do som, o fenómeno é designado por detonação, caso contrário, o fenómeno é designado por deflagração não havendo lugar a ondas de choque, estas causadas na detonação.

Os explosivos mais utilizados na demolição de estruturas são os do tipo que reagem por detonação, e dividem-se em dois grupos (Gomes, 2003):

- a. **Explosivos militares**, caracterizados por possuírem velocidades de detonação entre 6000 e 9000 m/s, dos quais se destacam o TNT (trinitrotolueno), o RDX (hexogénio), o PETN (pentrite), etc.
- b. **Explosivos comerciais**, de diferentes tipos de dinamite como o gelamonite que é o explosivo mais utilizado em demolições em Portugal. Caracterizam-se por possuírem velocidades de detonação entre 3000 e 7000 m/s. Um outro tipo de explosivo é o ANFO (mistura de fuel com nitrato de amónio) e o hidrogel.

O uso controlado de explosivos apresenta várias vantagens em relação aos métodos tradicionais, entre elas a redução dos custos envolvidos, a diminuição da duração do contrato de demolição, a maior taxa de segurança, a redução do período de poeiras, de ruído e da concentração de materiais demolidos. Em contrapartida existem situações onde o uso de explosivos não é apropriado, como em locais com grande densidade populacional, imediações de hospitais ou centros informáticos (Gomes, 2000). Com a aplicação deste método, consegue-se um método que gera poucas perturbações ambientais e um controlo estrito das vibrações. Todos os trâmites legais a pedir antes da obra, como permissões e licenças são de difícil acesso e por muitas vezes acabam por demorar bastante tempo. Apesar da redução do tempo de demolição, as grandes quantidades de poeiras originadas naquele espaço de tempo são um inconveniente deste processo. Como as poeiras, também o ruído e os gases são de forte intensidade, se bem que num curto espaço de tempo. Outro inconveniente associado a este tipo de demolição são as projecções de materiais, originadas pela detonação, que não são controladas dando origem a danos não planeados nos edifícios vizinhos. É importante referir que associado à aplicação deste método terá de haver um bom conhecimento da estrutura, com o objectivo de se prever o colapso da estrutura aumentando deste modo os níveis de segurança (Sánchez, 2009).

De modo a obter uma demolição controlada, com o máximo de fragmentação dos elementos da estrutura e sem que estes sejam projectados para fora da área desejada, existem vários mecanismos de colapso. Estes devem ser escolhidos de acordo com a área de trabalho e a estrutura a demolir e que cause o mínimo de distúrbios e estragos possíveis nos edifícios vizinhos (Gomes, 2000).

3.5.1 Mecanismos de colapso

Nesta secção serão analisados quatro mecanismos básicos de colapso de uma estrutura com recurso ao uso controlado de explosivos de acordo com Brown (1995), citado por Gomes (2000): mecanismo do tipo implosão, mecanismo do tipo telescópio, mecanismo do tipo derrube e o mecanismo do tipo progressivo.

3.5.1.1 Mecanismo do tipo implosão

Este mecanismo de colapso é o mais importante e o mais utilizado dentro da área de demolição com recurso ao uso de explosivos. É também uma denominação conhecida e muito associada ao sector da demolição de estruturas pela sociedade. Este mecanismo consiste na criação de descontinuidades em vários pontos da estrutura através de cargas explosivas, e através destas descontinuidades a estrutura vai entrar em colapso, fragmentando-se durante a queda através do seu peso próprio. Neste mecanismo o colapso a estrutura cede sobre si mesma, em direcção ao seu centro (Figura 58). É o método mais indicado para estruturas de grande porte.



Figura 58. Demolição por tipo implosão

3.5.1.2 Mecanismo do tipo telescópico

Este mecanismo é normalmente usado na demolição de estruturas ocas, provocando-se a demolição simultânea ou não de vários troços em altura na estrutura do edifício. Este acaba por ruir, aproximadamente, na área que ele ocupava antes da demolição, parecendo a sequência da demolição com um “telescópio”. A diferença deste mecanismo para a implosão baseia-se no peso próprio da estrutura, já que na implosão é peso próprio da estrutura que provoca o colapso e neste mecanismo não, já que as estruturas são normalmente ocas.

Alguns autores classificam este mecanismo como sendo um mecanismo de implosão. Williams (2003) refere que a palavra “implosão” foi adoptada para descrever o método de colapso telescópico. Também o autor Lauritzen (2000) estabelece três mecanismos de colapso: o mecanismo de implosão, o mecanismo de derrube e o

mecanismo de colapso progressivo, isto é, este autor assume o mecanismo do tipo telescópio como um mecanismo do tipo implosão.

3.5.1.3 Mecanismo do tipo derrube

Este tipo de mecanismo de colapso é utilizado em estruturas onde exista uma grande relação entre a altura do edifícios e a sua dimensão em planta, ou seja, em estruturas com elevada esbelteza. Indicado para estruturas que estejam isoladas e que possa ser derrubada para qualquer dos seus lados fazendo-se apenas um corte na base ou vários ao longo da altura do edifício. Os cortes são depois preenchidos com cargas explosivas, devendo-se garantir uma zona de segurança correspondente à área em torno da estrutura onde ela possa cair (Figura 59).



Figura 59. Demolição do tipo derrube

3.5.1.4 Mecanismo do tipo colapso progressivo

Neste método a demolição provoca um colapso sequencial da estrutura, provocando um “efeito dominó” durante a sua demolição (Figura 60). Este tipo de mecanismo é indicado para estruturas que possuam grande desenvolvimento em comprimento ou em edifícios contíguos.



Figura 60. Demolição por tipo colapso progressivo

3.5.2 Metodologia de aplicação

A escolha do mecanismo de colapso a utilizar para a demolição de uma estrutura deverá ser efectuada considerando vários aspectos: a esbelteza da estrutura, o conhecimento estrutural e as características do material constituinte da estrutura, a presença de edifícios próximos do local da demolição e as restrições ambientais.

As estruturas de betão armado formadas por vigas e pilares são as mais adequadas para o uso de cargas explosivas como método de demolição. No caso destas estruturas, elimina-se todos os elementos não estruturais tais como as paredes de alvenaria, carpintarias ou o telhado, de modo a que a estrutura esteja limpa para se proceder à demolição. O derrube da estrutura é provocado por cargas explosivas colocadas nos elementos estruturais como os pilares ou vigas (Fueyo, 2003).

Quando a estrutura a demolir contem elementos maciços de betão armado como muros ou paredes, também podem ser utilizadas cargas explosivas para provocar o colapso da mesma. As cargas explosivas são colocadas dentro de furações realizadas nos maciços de betão de modo a originar descontinuidades. No entanto, este tipo de estruturas que costuma possuir pequenas alturas e grandes dimensões em planta dão lugar a sérias complicações quando se pretende usar explosivos para provocar o seu colapso (Fueyo, 2003).

Antes de se iniciar o mecanismo de colapso deverá se realizar uma série de trabalhos preparatórios (Gomes, 2000). São eles a remoção de materiais de amianto, a remoção de paredes divisórias, a remoção de vidros, janelas e portas, cálculos da extensão das acções de pré-enfraquecimento, cálculos de estabilidade, planos de pré-enfraquecimento, testes de carga, testes de rebentamento e dispositivos e quantidades de explosivos. Podem ser realizados testes de rebentamento para quantificação da carga explosiva a utilizar em elementos estruturais da estrutura, sem que estes comprometam a estabilidade do edifício.

Este método de demolição pode também ser aplicado a estruturas metálicas. Para isso, os elementos estruturais são enfraquecidos e colocadas cargas explosivas de corte nesses elementos. As cargas de corte têm a particularidade de a intensidade da onda de choque resultante ser intensificada numa determinada direcção (Gomes, 2000).

3.5.3 Micro-explosão

A micro-explosão é uma técnica que deriva da utilização das pequenas cargas explosivas como meio para provocar a demolição da estrutura. Esta técnica é utilizada em trabalhos de reparação, demolição parcial ou em cortes localizados de elementos de construção, e consiste em colocar pequenos cartuchos explosivos com massa de 5 a 100 g (Lauritzen, 2000) em furos, previamente realizados, nos elementos com o objectivo de fragmenta-lo. Existem três tipos de explosivos que normalmente são utilizados na micro-explosão, são eles o Bonogel (que consiste em PETN insensível), compostos de nitrocelulose e cordão detonante com 5 a 40 g por metro (Lauritzen, 2000).

O método é lento e possui alguma complexidade devido à sua preparação e ao estudo prévio da localização dos furos que é necessário realizar. A demolição não é controlável e a dimensão dos fragmentos destacados pode obrigar ao recurso de outros equipamentos para diminuir a granulometria dos mesmos. Os cartuchos explosivos são introduzidos no interior das furações realizadas no elemento a demolir e são accionados por intermédio de dispositivos que se colocam em contacto com o cartucho (Figura 61). A possibilidade de se poderem accionar vários cartuchos explosivos simultaneamente ou

desfasadamente faz aumentar a eficiência do método. Na Figura 62 apresenta-se um dispositivo de aplicação do método da micro-explosão.

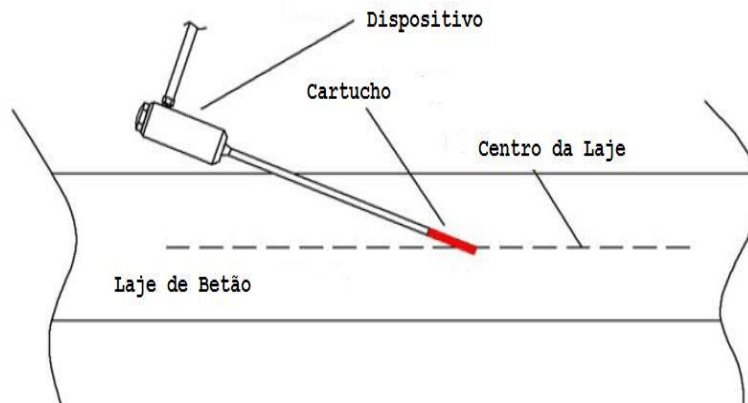


Figura 61. Esquema de aplicação de dispositivo de micro-explosão numa laje de betão. Adaptado de (Ezebreak, 2008)



Figura 62. Dispositivo de accionamento dos cartuchos explosivos (Ezebreak, 2008)

Como já referido acima, este método é pouco ou nada eficiente quando utilizado na demolição completa de uma estrutura. Contudo, demonstra ser uma excelente técnica quando utilizada em pequenos trabalhos de demolição parcial, reconstrução ou reabilitação, como por exemplo o corte de porções de lajes de betão armado ou até no rebentamento de maciços de fundação das estruturas. O uso desta técnica em elementos em betão armado provisiona a remoção do betão das armaduras de reforço não destruindo as armaduras. Assim, é uma técnica com uma aplicabilidade eficiente na reparação de elementos que possuam betão deteriorado (Lauritzen, 2000).

Segundo Lauritzen (2000) esta técnica foi muito desenvolvida na Dinamarca e, actualmente, é utilizada em reparação/reabilitação de pontes, demolição de maciços de fundações, realização de aberturas em paredes de betão e na remoção de elementos em estruturas novas rejeitados por possuírem qualidade insuficiente. Esta técnica foi utilizada na reabilitação da estrutura do túnel “*Great Belt*” na Dinamarca após um incêndio que ocorreu no túnel em 1994. A técnica da micro-explosão foi utilizada na remoção das paredes de contenção temporárias construídas durante os trabalhos de reparação. A utilização da técnica demonstrou ser o caminho mais seguro, mais rápido e sem possuir o risco de danificar a nova estrutura do túnel.

3.5.4 Obras de demolição com recurso a explosivos realizadas em Portugal

As obras de demolição com recurso a aplicação de cargas explosivas em Portugal são poucas, no entanto, destacam-se algumas que foram de grande envergadura. Por exemplo o Hotel Atlantis na Ilha da Madeira foi demolido com recurso a explosivos, decorria o ano de 2000. A demolição inseria-se nas obras de ampliação do aeroporto do Funchal e ficou da responsabilidade de duas empresas francesas especializadas neste tipo de demolição. O mecanismo de colapso escolhido para provocar a demolição da estrutura foi do tipo implosão. Em 2005 foi também aplicado este mesmo mecanismo de colapso na demolição das torres da península de Tróia em Setúbal (Figura 63). A demolição das torres ficou da responsabilidade de uma empresa inglesa.



Figura 63. Demolição das torres de Tróia

Em finais de 2002, foi demolida a antiga Ponte do Mourão sobre o rio Guadiana com recurso ao uso controlado de explosivos. A demolição da ponte ficou a cargo da divisão de engenharia militar do exército português que realiza investigação nesta área de demolição.

Em 2004 foi também realizada a demolição de dois silos em betão armado pertencentes à cimenteira Secil, situados em Setúbal (Figura 64). A demolição foi realizada por derrube, e ficou a cargo de uma empresa espanhola.



Figura 64. Demolição de um dos silos da Secil

3.6 Processos Eléctricos

A demolição de edifícios com recurso a processos eléctricos consiste, essencialmente, no recurso à energia eléctrica para promover a fragmentação ou deterioração do material. Embora sejam considerados processos de demolição, são processos pouco usados no sector da demolição de estruturas podendo, no entanto, ser utilizados em trabalhos pontuais de remoção de betão.

Nesta secção irá fazer-se uma breve análise a cada método de processos eléctricos de demolição, assim como suas vantagens e desvantagens.

3.6.1 Aplicação de materiais *Shape Memory Alloys* (SMA)

Os SMA são materiais que depois de serem comprimidos têm a capacidade de recuperar a forma original com o aumento de temperatura. Deste modo, foi aproveitada a capacidade em conseguirem recuperar a forma original aplicando-a no sector da demolição de estruturas.

Este processo consiste em aplicar o SMA, previamente comprimido, num furo realizado no elemento a demolir e, posteriormente, através da aplicação de corrente eléctrica aquece-se o SMA promovendo a sua recuperação para a forma original. Esta recuperação inicia-se entre os 50°C e os 100°C, introduzindo forças na face da furação de aproximadamente 100 kN (Nakagawa, 1994). Estas forças de expansão provocam a fragmentação do elemento de betão armado.

As vantagens associadas a este método são satisfatórias, pois os SMA são materiais reutilizáveis e além disso a sua aplicação não provoca ruídos, vibrações ou resíduos durante o trabalho. No entanto é necessário recorrer a outros métodos, mais propriamente métodos de perfuração para efectuar as furações no betão. O SMA mais utilizado neste sector é uma liga níquel-titânio, normalmente denominada de nitinol.

3.6.2 Aquecimento induzido de um material ferromagnético

O princípio básico deste método é a utilização da força expansiva de um material ferromagnético produzida pelo seu aquecimento através de corrente eléctrica de alta frequência proveniente de uma bobina. O material ferromagnético é comprimido e introduzido no furo previamente realizado no elemento de betão. As forças de expansão provocadas pelo aquecimento do material ferromagnético vão provocar a fragmentação do betão (Brito, 1999). O processo é idêntico à aplicação dos SMA, descrito anteriormente. É um processo silencioso e não provoca vibrações mas possui um risco elevado de interferência com equipamentos electrónicos devido à elevada potência eléctrica necessária. É de referir que associado a este tipo de métodos está um risco muito elevado de electrocussão para o operador, daí ser necessária que o operador seja experiente e profissional no que faz.

3.6.3 Sistema electro-hidráulico

Este sistema electro-hidráulico é um método alternativo a todos os outros para deteriorar o betão. O princípio básico da tecnologia electro-hidráulica consiste na transformação de energia eléctrica (armazenada num condensador) em energia mecânica sob forma de impulsos energéticos. Estes impulsos são gerados em ambiente aquático por uma descarga eléctrica, o que resulta numa propagação desses impulsos por todo o meio que rodeia (neste caso, água). Como esses impulsos vão atravessar zonas de diferentes densidades, isto é, interfaces água-betão e agregados-cimento, vão ocorrer pressões e tensões nessas interfaces. Essas tensões irão destruir primeiro a ligação entre os agregados e a pasta de cimento criando fracturas ao longo dessas interfaces de diferentes intensidades. Assim, com este método consegue-se deteriorar um elemento de betão submerso com água (Linß, Mueller, 2003).

Uma vantagem deste processo é que a energia está presente em todo o ambiente aquático. Alterando parâmetros eléctricos, como a capacidade do condensador, a voltagem da carga, a distância entre eléctrodos, e o numero de impulsos, consegue-se controlar a energia aplicada no sistema (Linß, Mueller, 2003) e (Goldfarb, Gannon, 1995).

3.7 Processos Químicos

Nesta secção vai proceder-se a uma análise de algumas técnicas de demolição por meios químicos. Esta é uma área ainda pouco evoluída, pois envolve processos de execução lentos e morosos. No entanto, proceder-se-á a uma análise a procedimentos realizados para fragmentar elementos de betão.

Abordar-se-ão algumas expansões por parte de materiais que introduzem forças de tracção no interior do betão provocando a sua desintegração. É um processo que possui a mesma filosofia do sistema de cunha hidráulica ou dos macacos hidráulicos, no entanto, neste método as forças de tracção são provocadas pela capacidade de expansão de alguns materiais.

3.7.1 Expansão de gás

Para execução deste método é necessário a realização de um furo no elemento de betão a demolir com cerca de 3 a 4 cm de diâmetro (Brito, 1999) e, posteriormente é bem vedado com auxílio de uma bucha. O resultado do processo é um aumento da pressão no interior da cavidade provocada pelo gás introduzido e uma libertação do mesmo pela fendilhação interna da estrutura que rodeia a cavidade provocando a fragmentação do elemento a demolir (BS 6187, 2000). Normalmente o gás utilizado para a realização deste tipo de processo é o dióxido de carbono. Consiste num processo lento, pouco eficaz em betão fortemente armado e que oferece pouco controlo da demolição.

Uma variante desta técnica é a expansão súbita de gás (Brito, 1999), que consiste na expansão do dióxido de carbono a pressões elevadas através de um furo no elemento de betão a demolir, conseguindo-se atingir tensões na face do furo na ordem dos 120 a 270 MPa. Estas tensões internas vão provocar a desintegração do betão por tracção. É um método económico e simples mas oferece pouco rendimento em estruturas de betão armado e um baixo controlo da demolição.

3.7.2 Expansão de cal viva

Nesta técnica recorre-se ao poder expansivo da cal viva para provocar a fragmentação de elementos de betão armado. Para isso, é necessária a realização de uma furação no betão com 3,5 a 5,5 cm de diâmetro onde, posteriormente é introduzido o produto (80% de cal viva, 10% de areia siliciosa e 10% de retardador) diluído com 30% de água (Brito, 1999). Os furos devem estar espaçados entre 20 e 90 cm de acordo com a resistência do betão e com o nível de fissuração pretendido e quando as furações forem horizontais deverão ser vedadas. A velocidade de hidratação da cal viva é bastante rápida, por isso, é difícil colocar a cal viva nos furos antes de começar a hidratação da cal viva. Existe, no entanto, agentes retardadores como a glicerina ou o etanol que adicionados à cal viva retardam o processo de hidratação (Hayashi *et al.*, 1994). Após a colocação da cal viva hidratada, esta começa a expandir criando tensões internas no elemento de betão.

É uma técnica que apesar de ser silenciosa e não provocar resíduos ou projecções de materiais, é uma técnica muito lenta. A fraca eficácia em elementos de betão armado e em climas frios ou o facto de não se conseguir um controlo da fissuração durante a demolição são aspectos inconvenientes importantes associados a este método.

3.7.3 Expansão química de agentes demolidores

Este processo é idêntico ao processo de expansão com cal viva, no entanto, os materiais usados neste método são alterados de modo a diminuir o tempo de expansão. Contudo, o componente principal destes materiais é a cal (óxido de cálcio) e o mecanismo de demolição é provocado pela hidratação da cal. Existem agentes de actuação lenta, de actuação normal e de actuação rápida com tempos de actuação de 4-5 dias, 12-24 horas e 1-3 horas, respectivamente (Hayashi *et al.*, 1994).

O processo consiste em aplicar, em furações previamente realizados com 30 a 50 mm de diâmetro e espaçados de 30 a 40 cm entre eles, uma mistura de pó inorgânico produzido a partir de cal viva e de um composto orgânico com água (26% - 30%). Esta mistura deve ser realizada consoante as dosagens que os fabricantes recomendam (Figura 65). Depois de aplicada a mistura nas furações começa a dar-se a expansão, o que vai introduzir tensões internas no interior do elemento de betão a demolir. A partir daí começa a aparecer a fendilhação do elemento e consequente desintegração. Este processo pode demorar até 12 horas em condições óptimas como por exemplo no Verão, ou até 48 horas em climas frios como o Inverno.

De acordo com produtores deste tipo de agente expansivo, o furo a realizar no elemento a demolir deverá ter uma profundidade mínima recomendada de 300 mm e uma profundidade máxima de 6000 mm, no entanto, estes valores são aplicados para o desmantelamento de rocha.



Figura 65. Aplicação de mistura de agente expansivo (Bustar, 2008)

O campo de aplicação desta técnica insere-se na desintegração de maciços de fundação ou de suporte de terras em betão simples (Figura 66), sendo no entanto também utilizado no desmantelamento de rochas devido ao seu rendimento.



Figura 66. Agente expansivo em maciço de betão armado

A eficácia deste processo é dependente da temperatura climatérica, da percentagem de água na mistura, do diâmetro do furo e do tempo decorrido. Isto é, a pressão originada pela expansão da mistura possui um melhor comportamento quanto maior for a temperatura ambiente. Quanto maior for a percentagem de água na mistura menor é a pressão introduzida ao elemento. Quanto maior o diâmetro da furação, maior é a quantidade de mistura e, conseqüentemente, maiores pressões geradas e, por fim, quanto maior o tempo de expansão da mistura maior pressão introduzida no elemento a demolir.

Este tipo de agentes expansivos consegue atingir pressões na face do furação na ordem dos 70 MPa (Bustar, 2008), no entanto é importante referir que para o processo atinja bom resultado a mistura tem de estar em ótimas condições.

É um processo lento até se obter resultados satisfatórios, no entanto não produz ruídos, vibrações, projecções de materiais, fumos ou agentes poluidores do meio ambiente. A sua utilização tem vindo a aumentar devido a ser um método que não cria problemas ambientais ou de segurança. O processo de demolição é pouco controlado, embora a realização de furações mais próximas e rasgos laterais no furo aumente o controlo de fissuração (Hayashi *et al.*, 1994). A sua utilização pode ser efectuada em meio aquático. Em contrapartida, é um pouco eficaz em elementos de betão armado e a aplicação da mistura em furações horizontais envolve a necessidade de garantir que toda a furação esteja sob acção da mistura.

3.8 Outros processos

Os processos analisados neste capítulo correspondem aos processos mais utilizados no sector da demolição de edifícios. No entanto, existem processos que se podem considerar como de demolição mas que devido aos seus fracos rendimentos ou devido a estarem ainda pouco desenvolvidos não foram analisados com maior detalhe. Contudo, após pesquisa bibliográfica (Brito, 1999) pode-se ainda enumerar técnicas de demolição como o ataque de ácidos em elementos de betão ou um método que provoca a aceleração do processo de corrosão das armaduras de reforço de aço.

Como o betão é um material de características alcalinas, a reacção deste com ácido provocaria a sua desintegração. No entanto estas reacções são lentas, pouco eficazes e o perigo para a saúde humana que está associado a esta técnica é também elevado. Outra forma de provocar a desintegração do betão é consiste na corrosão das armaduras de reforço. O processo de corrosão do aço irá aumentar o diâmetro das armaduras e provocar a fragmentação do betão. Aplicando uma corrente eléctrica contínua nas armaduras de reforço de aço, e estando o elemento de betão armado em ambiente “salino”, origina uma aceleração do processo de corrosão. Embora seja um processo simples, o seu rendimento é baixo e o tempo de espera para poder visualizar resultados satisfatórios é elevado.

Capítulo 4. Demolição total de uma passagem superior sobre uma auto-estrada

4.1 Preâmbulo

Com a ampliação e modernização da rede de transportes terrestres em Portugal, verificou-se necessário proceder tanto a alterações de traçado como a construções de novas passagens superiores. Uma das principais alterações é o alargamento das auto-estradas para três ou mais faixas de rodagem. Assim, a demolição de passagens superiores, tornou-se numa actividade recorrente nas obras de alargamento que muitas auto-estradas portuguesas estão a sofrer, como por exemplo a A1 e a A25, sendo nesta última onde ocorreu o caso prático a seguir analisado.

4.2 Estudo da estrutura a demolir

O presente caso de estudo incide sobre a demolição total uma passagem superior sobre uma auto-estrada para se proceder à reformulação do nó de ligação da A29-A25 e de acordo com a remodelação que as auto-estradas portuguesas têm vindo a sofrer. Assim, esta obra de demolição foi acompanhada pelo autor da dissertação de modo a compreender melhor a aplicação dos métodos de demolição em estruturas especiais, como é o caso deste tabuleiro que é constituído por cabos de pré-esforço.

A passagem superior localiza-se na freguesia de Angeja – Albergaria-a-Velha, e servia de passagem sobre a Auto-estrada A25 – Aveiro/Vilar Formoso. A sua demolição insere-se no programa português de remodelação e reabilitação das auto-estradas, e visa o alargamento da auto-estrada com a construção de uma nova passagem superior.

A estrutura a demolir consiste num tabuleiro em betão armado que possui um nervura central pré-esforçada, e que está apoiado em dois pilares de betão armado (Figura 67). Estes pilares de betão armado são a causa da demolição da passagem superior já que impedem o alargamento das vias de circulação.



Figura 67. Passagem superior sobre a A25 em Angeja

A presente estrutura é de elevadas dimensões e para se poder perceber melhor as dimensões da mesma e dos elementos que a constituem apresentam-se dois cortes da estrutura, um corte longitudinal (Figura 68) e um corte transversal (Figura 69). Estes cortes foram realizados com base em medições efectuadas no local, pois sendo a estrutura uma obra antiga não havia acesso a desenhos de pormenores da mesma. A quantidade de cabos de pré-esforço e, também, das armaduras de reforço presentes na estrutura não foram possíveis de determinar por não haver referências acerca do projecto da passagem superior.

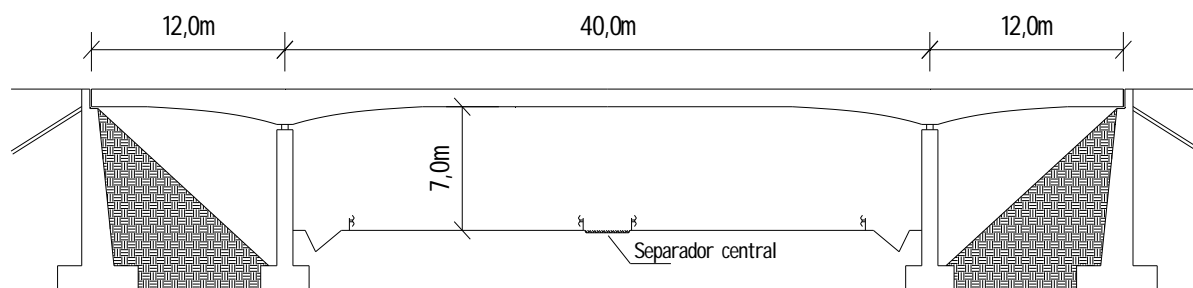


Figura 68. Corte longitudinal da passagem superior

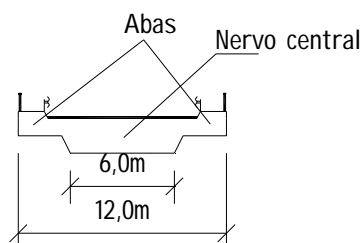


Figura 69. Corte transversal da passagem superior

A técnica de demolição, previamente estipulada para a demolição da passagem superior recaia sobre equipamentos de corte e perfuração com elementos diamantados, complementados com equipamentos mecânicos. Esse planeamento consistia em escorar o tabuleiro da passagem superior ao nível do separador central e realizar cortes de elementos “fatiados” do tabuleiro através de equipamentos de corte com fio diamantado. Aquando do corte, nos elementos que serão retirados do tabuleiro terão de ser feitos furações com equipamentos de carotagem de modo que o cabo do equipamento de elevação garanta a elevação do elemento do tabuleiro. No entanto, visto que seria necessário suprimir totalmente o tráfego de automóveis na auto-estrada era necessário recorrer a uma técnica que em termos de tempo fosse mais eficiente. Assim, recorreu-se a escavadoras de grande porte acopladas com acessórios como martelos de demolição, tesouras de corte de betão e tesouras de corte de aço.

Os trabalhos de demolição ficaram a cargo de três empresas de demolição portuguesas subcontratadas pelo empreiteiro responsável pela construção da nova passagem superior.

4.3 Equipamentos de trabalho utilizados

Para os trabalhos prévios de demolição utilizou-se um maçarico de oxicorte para corte dos guarda-corpos da passagem superior. Em trabalhos de movimentação de terras e para trabalhos de recolha de entulho durante a demolição e transporte para sumidouro utilizou-se uma escavadora de rastos de 25 toneladas com balde, uma escavadora de rodas de 20 toneladas com balde e uma escavadora de roda de 18 toneladas com balde.

Para a execução dos trabalhos de demolição foram utilizadas uma escavadora de rastos de 25 toneladas com martelo de demolição, uma escavadora de rastos de 30 toneladas com martelo de demolição, duas escavadoras de rastos de 30 toneladas com tesoura de corte de betão, uma escavadora de rastos de 20 toneladas com tesoura combinada de corte de aço e betão e uma escavadora de 30 toneladas com tesoura de corte de aço.

A meio dos trabalhos, uma escavadora de rastos de 25 toneladas trocou o balde por um martelo hidráulico. Contudo, posteriormente voltou a colocar o balde para realizar os trabalhos de recolha e transporte do entulho resultante da demolição.

4.4 Preparação para trabalhos de demolição

Antes de se realizar a demolição da passagem superior foi necessário proceder a diversos trabalhos prévios da demolição para que esta seja efectuada com as melhores condições de segurança e aumentar a eficiência dos trabalhos durante a demolição da passagem superior.

Sendo assim, os trabalhos de demolição foram agendados para a madrugada de 24-25 Junho de maneira a perturbar o menos possível de utentes daquela auto-estrada. Contudo, todo o trânsito no troço de Angeja da auto-estrada foi cortado, tendo sido desviado para uma estrada paralela à mesma auto-estrada de modo a que todos os trabalhos sejam efectuados com a máxima segurança. Assim, em primeiro lugar foram removidos todos os *rails* na zona de obra que funcionavam como separadores centrais e protecções laterais, de maneira que a zona da demolição tivesse limpa e livre de obstáculos. Após este processo, foi movimentada terra dos taludes laterais do troço para a parte inferior do viaduto, com o objectivo de proteger o asfalto da auto-estrada, funcionando como uma camada de amortecimento para a queda de elementos oriundos da demolição da estrutura (Figura 70) e também para permitir o acesso das escavadoras à qualquer zona do local de demolição. Toda a estrutura de suporte da passagem superior ficou acessível às escavadoras de demolição. De seguida foram removidos os guarda-corpos presentes no tabuleiro. Os guarda-corpos foram enfraquecidos nas ligações ao tabuleiro com a acção de um maçarico oxicorte, e posteriormente com o auxílio das escavadoras foram removidos e levados para local apropriado para reciclagem.



a)



b)

Figura 70. Trabalhos prévios da demolição: a) retirada dos guarda-corpos; b) preparação da camada de protecção do piso da estrada

4.4.1 Procedimentos de segurança

Para a realização da demolição da passagem superior foi necessário ter o máximo de cuidado com as regras de segurança que devem ser cumpridas. Assim, começou-se por limpar toda a zona de trânsito de modo que as máquinas possam operar livremente sem qualquer obstáculo; todas as pessoas afectas e não afectas à obra devem usar equipamentos de segurança individual (EPI's), isto é, capacete, colete e botas de segurança; estabelecimento de medidas de protecção colectiva como delimitação do perímetro de segurança através de barreiras ou fitas de modo a que as pessoas não transponham a zona de segurança; todas as máquinas e equipamentos utilizados na demolição devem cumprir com a legislação aplicável em termos de condições da máquina e de segurança e saúde para os trabalhadores; todos os trabalhos devem ser realizados por pessoal especializado e com carteira de aptidão profissional; as zonas de trabalhos deverão ter uma iluminação através de quatro torres de iluminação; deve ser feita uma revisão periódica de todas as medidas de segurança, e devem ser seguido todos os procedimentos estabelecidos nos planos de trabalho específicos propostos para a gestão de resíduos.

4.5 Trabalhos de demolição mecânica

Nesta secção englobam-se todos os trabalhos de demolição levados a cabo pelas escavadoras pesadas de demolição. Assim numa primeira fase demolia-se as abas do tabuleiro em betão armado. Para isso empregou-se as duas escavadoras com tesouras de corte de betão, uma em cada lado da passagem superior, as duas escavadoras com martelo, também uma em cada lado e outra escavadora com uma tesoura combinada de corte de betão e aço. Todas as tesouras utilizadas possuíam rotação de 360° sobre a sua coroa o que possibilitava a adaptação ao elemento em qualquer posição o que permitia demolir com precisão.

Na Figura 71 apresenta-se o aspecto numa primeira fase da demolição da passagem superior. Pode-se observar as três escavadoras a trabalharem em simultâneo, a do lado esquerdo com uma tesoura de corte de betão, a do meio com uma tesoura combinada de corte de betão e aço e a do lado direito com um martelo de demolição.



Figura 71. Aspecto do lado Este da passagem superior durante a primeira fase de demolição

Nesta primeira fase, a demolição começa por se realizar a partir da parte central do tabuleiro, demolindo as abas de betão armado presentes no tabuleiro (Figura 72), representadas através da Figura 69. Depois de demolido essas abas, o próximo passo é o corte do nervo central que possui cabos de pré-esforço. Visto estes cabos de pré-esforço serem aderentes ao betão, torna menos complicado o corte desta nervura central pois funcionam também como armadura de reforço. Caso estes cabos de pré-esforço não fossem aderentes o seu corte poderia trazer graves problemas estruturais à passagem

superior durante a demolição, podendo provocar um colapso da estrutura antes do previsto. Isto acontece devido ao facto de os cabos não aderentes ao serem cortados não funcionarem como armadura de reforço e a assim a estrutura fica mais vulnerável em termos de estabilidade. De modo a prevenir os colapsos imprevistos será necessário escorar o tabuleiro por cimbres.

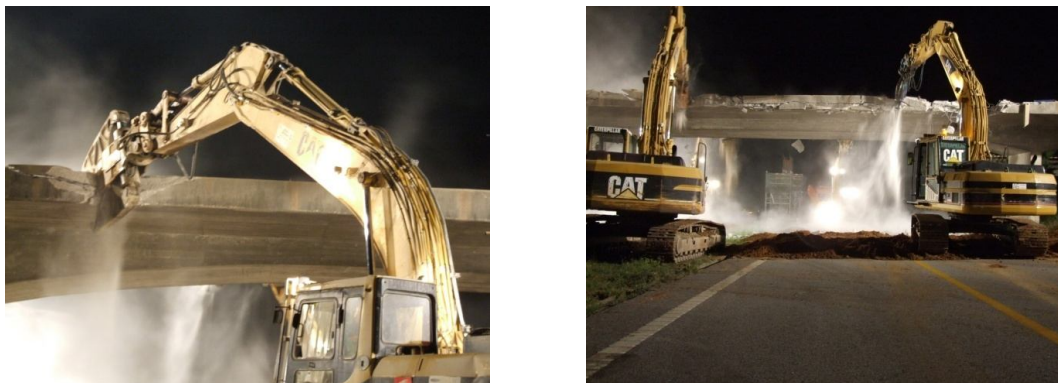


Figura 72. Demolição da aba do tabuleiro

A segunda fase da demolição insere-se com o corte do nervo central e dos cabos de pré-esforço e a aplicação de uma escavadora com um segundo martelo de demolição a fragmentar o tramo norte da passagem superior ao nível do tabuleiro. Na Figura 73, pode-se observar toda a maquinaria empregue no corte do nervo central e ao fundo a escavadora apoiada ao nível do tabuleiro a demolir o tramo norte da passagem superior.



Figura 73. Corte do nervo central: a) vista ao nível da parte superior do tabuleiro; b) equipamentos utilizados

Entretanto com o decurso dos trabalhos foram sendo produzidos resíduos da demolição. Assim, foi necessário utilizar uma escavadora com balde para retirar esses resíduos da zona de demolição e coloca-los numa zona que não perturbasse os trabalhos e que fosse acessível para depois serem carregados para uma central de reciclagem. Esses resíduos foram então removidos da zona de demolição e colocados na berma da auto-estrada por uma escavadora com balde.

Quando se deu o corte de todos os cabos de pré-esforço na zona central do tabuleiro, este manteve-se suportado devido ao facto de os cabos de pré-esforço serem aderentes ao betão e funcionarem como armadura de reforço (Figura 74) formando, assim, dois tabuleiros em consola apoiados nos apoios intermédios.



Figura 74. Corte dos cabos de pré-esforço

Com o aparecimento dos cabos de pré-esforço durante a demolição surgiu a necessidade de à medida que o betão ia sendo fragmentado, os cabos serem cortados de modo a não perturbar os trabalhos de demolição. Devido à elevada resistência dos cabos de pré-esforço, justificava-se o uso de uma tesoura de corte de aço para cortar estes cabos e também a armadura de reforço do betão (Figura 75).

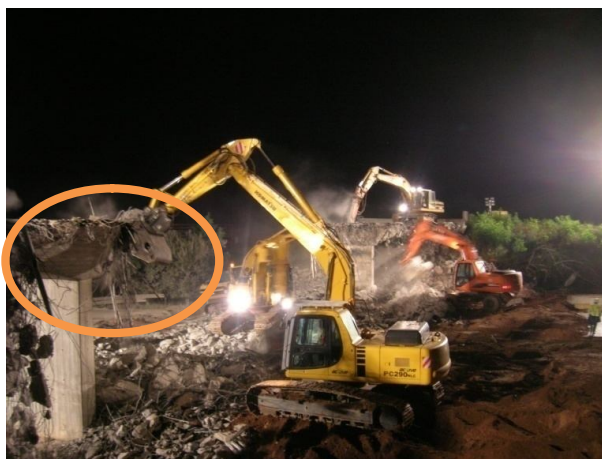


Figura 75. Corte dos cabos de pré-esforço com tesoura de corte de aço

Com o desenvolvimento dos trabalhos uma escavadora com tesoura de corte de betão avariou ficando inactiva até ao fim dos trabalhos e também a outra tesoura de corte de betão teve problemas tendo sido substituída por um martelo de demolição. A partir deste momento os trabalhos apenas se realizaram com recurso a três martelos de demolição, uma tesoura combinada de corte de aço e betão e a uma tesoura de corte de aço. Devido ao facto de o martelo de demolição obter uma maior eficácia quando este actua na vertical sobre o elemento a demolir, movimentou-se uma escavadora com martelo de demolição para a parte superior de um dos tabuleiros (pois no tabuleiro norte já estava presente um martelo de demolição a actuar na parte superior) de modo a obter um maior rendimento no processo de demolição. A escavadora com tesoura de corte de aço realizava a separação do aço da estrutura a partir da zona da auto-estrada. No tabuleiro norte estava também presente a tesoura combinada de corte de aço e betão e no tabuleiro sul actuava um martelo a partir da zona da auto-estrada.

Partindo da análise da Figura 76 verifica-se a escavadora com martelo de demolição a actuar de modo vertical sobre o tramo sul do tabuleiro. Evidencia-se nesta imagem um aspecto de segurança importante. Quando uma escavadora com martelo de demolição ou outro implemento de demolição está a processar um elemento, esta deve estar assente ou situada em local firme e seguro. No entanto, pode-se verificar que a escavadora que está a realizar a demolição daquele tramo está situada em cima do próprio tramo. Ou seja, o risco de aquele elemento ceder é elevado e pode acarretar

consequências graves para o manobrador da máquina ou para outra pessoa inerente à obra.



Figura 76. Escavadora com martelo de demolição

A situação relatada anteriormente acabou mesmo por acontecer com a escavadora do outro tramo, no entanto, não houve consequências graves para o manobrador nem para a escavadora (Figura 77). Contudo, esta situação é de evitar de modo a maximizar os níveis de segurança. Esta situação pode ter sido provocada pela falta de equipamentos de corte de betão devido ao facto de as outras tesouras de corte de betão que iniciaram a demolição estarem indisponíveis. Assim o único meio disponível para demolir o resto do viaduto era os martelos de demolição e a tesoura combinada de corte de aço e betão. Pese embora de a tesoura combinada de corte de aço e betão ser também indicada para estruturas de betão armado, o seu rendimento é muito inferior ao das tesouras de corte de betão.



a)



b)

Figura 77. Demolição do tramo norte: a) escavadora com martelo; b) derrocada do tramo provocada pelo peso próprio da escavadora

4.6 Conclusões

Durante a fase de estudo da à estrutura a demolir, estabeleceu-se que a demolição total da estrutura teria de se realizar durante a noite de 24-25 de Junho, de modo a perturbar o menos possível o trânsito de automóveis na auto-estrada. Isto é, a demolição começou por volta das 21.00h do dia 24 e o trânsito na auto-estrada deveria estar restabelecido às 7.00h do dia 25 de Junho.

De facto às 7.00h do dia 25 de Junho, o trânsito foi restabelecido e circulava normalmente (Figura 78) mas a passagem superior não estava totalmente demolida, faltando parte do tramo sul e norte. Provavelmente, este atraso da obra deveu-se às avarias técnicas que ocorreram durante os trabalhos de demolição. Conclui-se que se estas avarias não tivessem acontecido, o prazo estabelecido para a demolição total teria sido cumprido.

Em relação à escolha do método de demolição para a passagem superior por equipamentos mecânicos, através de escavadoras hidráulicas com acessórios de demolição, mostrou ser uma opção acertada na medida em que o prazo de demolição da obra era de 10 horas e este foi cumprido, embora tivessem restado partes da estrutura que não estavam totalmente demolidas. No entanto, a demolição dos elementos restantes não implicava o corte de tráfego na auto-estrada.

É de realçar a boa escolha dos equipamentos de trabalho, assim como a boa execução dos procedimentos de demolição e a coordenação dos mesmos por parte dos trabalhadores e dos responsáveis pela obra. Foi também efectuada uma manutenção cuidada dos níveis de segurança em obra para todas as pessoas ligadas e não ligadas à obra por parte dos responsáveis de segurança da obra.



Figura 78. Aspecto do resultado da demolição na reabertura do tráfego na auto-estrada

Posteriormente, foi demolido os pilares e as fundações assim como os pilares que suportavam a estrutura nas extremidades do tabuleiro e que estavam no interior do terreno, como se está esquematizado na Figura 68. No entanto, começou-se também a fazer uma separação dos resíduos da demolição, com recurso a um pulverizador que fragmentou os elementos de betão resultantes da demolição para uma granulometria menor e ao mesmo tempo separava o betão das armaduras de reforço a fim de todos os materiais serem reciclados em local próprio.

A nova passagem superior já estava em construção aquando da demolição e foi concluída após a demolição (Figura 79).



Figura 79. Nova passagem superior e local da antiga passagem superior

Ao acompanhar esta obra de demolição verificou-se que as avarias que ocorreram nos equipamentos mecânicos durante a execução dos trabalhos de demolição, não podiam ser reparados no local. A avaria ocorreu numa escavadora hidráulica com tesoura de corte de betão e impossibilitou-a de continuar a operar. Como este equipamento possuía bastante eficiência nos trabalhos de demolição, a par com a segunda escavadora hidráulica com tesoura de demolição, a sua falta condicionou o prazo de execução da obra. A presença de equipamentos de substituição no local da demolição solucionava este problema. No entanto, o transporte destes equipamentos até ao local da demolição é algo dispendioso e a presença de equipamentos de substituição implicava maiores gastos com transporte.

Quando se verificou a avaria na tesoura de corte de betão de uma das escavadoras hidráulicas, deu-se a troca por um martelo hidráulico. Contudo, aquando da avaria havia a segunda escavadora hidráulica avariada com uma tesoura de corte de betão. Caso a troca fosse por esta tesoura, em vez da aplicação de um martelo de demolição, o prazo de execução teria sido reduzido em virtude do maior rendimento de uma tesoura de corte de betão.

Capítulo 5. Fichas de Custos e Rendimentos

5.1 Preâmbulo

A quantificação e o cálculo do rendimento do trabalho produzido por qualquer actividade de construção serão sempre uma tarefa difícil de realizar. Nesta quantificação é necessário considerar factores tais como o valor da amortização dos equipamentos, o desgaste dos equipamentos, o transporte para o local de obra desses mesmos equipamentos ou os consumos de electricidade ou de combustíveis.

Entre o ano de 1968 e o ano de 1984, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) publicou, no âmbito das actividades de Documentação e Divulgação Técnica Geral, uma série de informações sobre custos onde se apresentam fichas de rendimentos de operações na construção. A última publicação dessa série datada de 1984 era constituída por 1912 fichas de operações na construção. Actualmente, o LNEC publica uma revista sobre fichas de rendimentos bastante mais actualizada e ampliada e com um maior rigor (Manso *et al.*, 2004).

A publicação do LNEC sobre custos e rendimentos é, de facto, um documento que auxilia os profissionais da construção e o público em geral na quantificação de custos e de rendimentos em operações de construção civil. As operações de demolição estão presentes nesta publicação como trabalhos preparatórios para a construção de infraestruturas, no entanto, é preciso referir que os trabalhos de demolição não são apenas trabalhos preparatórios para a construção de novas estruturas. Os trabalhos de demolição de edifícios e de estruturas podem ser trabalhos de remodelação, de reconstrução ou de demolição total, sendo que não são trabalhos que obrigam a que ocorra construção de novas estruturas.

Na publicação mais recente do LNEC sobre fichas de custos e rendimentos, a secção sobre operações de demolição contém apenas cinco fichas de custos e rendimentos, referindo-se apenas à demolição manual com ferramentas ligeiras de paredes de alvenaria de tijolo. Com a leitura desta dissertação, verifica-se que existe uma variedade

de metodologias de demolição que podem ser aplicadas em várias operações que não estão contempladas nas fichas de custos e rendimentos publicadas pelo LNEC. Assim, no decorrer da elaboração desta dissertação surgiu a hipótese de elaborar fichas de custos e rendimentos de algumas actividades de demolição aplicadas em diferentes métodos de demolição. Estas fichas propostas podem ser consultadas em anexo nesta dissertação (Anexo B).

Neste capítulo irá abordar-se o modo como foram elaboradas as fichas de custos e rendimento e o modo como foram conseguidos os dados e valores necessários para a elaboração destas mesmas fichas.

5.2 Aquisição de dados para elaboração das fichas

Para a elaboração das fichas de custos e rendimentos propostas em anexo nesta dissertação os valores de custos e rendimentos por foram obtidos através de pessoas experientes no sector da demolição de estruturas. Assim, começou-se por efectuar uma pesquisa de empresas de demolição a laborar em Portugal, posteriormente, efectuou-se o contacto pessoal com algumas delas de modo a dialogar com as pessoas mais experientes nesta área. O contacto por parte do autor desta dissertação com as empresas de demolição serviu não só para adquirir dados referentes a custos e rendimentos de operações como também para o aumento do conhecimento nesta área, de modo a poder aplicá-lo na realização desta dissertação.

As empresas de demolição que foram consultadas para a elaboração deste capítulo foram as seguintes:

- a.** Demolidora Penafidense – Sociedade Demolições de Penafiel, Lda.
- b.** António Costa Almeida Demolições, Lda.
- c.** LeiriCorta Betão, Lda.
- d.** Cortibet – Demolição e Corte de Betão, Lda.
- e.** Fozterra – Sociedade de Demolições e Movimentação de Terras, Lda.

Além das empresas de demolição referidas, outro tipo de empresas ligadas ao sector da demolição foram consultadas. Sendo as actividades de demolição, actividades

que utilizam um número elevado de equipamentos de elevado valor de aquisição, o aluguer temporário desses equipamentos aparece como uma alternativa válida para diminuir o orçamento das obras de demolição. Deste modo, foram consultadas algumas empresas de aluguer que disponibilizam equipamentos para demolição como martelos hidráulicos, martelos pneumáticos, compressores, unidades hidráulicas, etc. O contacto com estas empresas revelou ser bastante útil e proveitoso para a quantificação dos custos horários dos equipamentos apresentados nas fichas. Contactou-se alguns fabricantes de equipamentos para demolição, assim como catálogos e retirou-se informação útil para a elaboração das fichas. É importante referir que, geralmente, as empresas que efectuam o aluguer de equipamentos estabelecem um período mínimo de aluguer que normalmente não é inferior a uma semana, pelo que é necessário ter este aspecto em conta.

Além deste contacto com empresas de demolição e de aluguer de equipamentos, foi também realizada uma pesquisa na Internet sobre bases de dados de preços de referência na construção civil. Deste modo foram encontradas algumas bases de dados de preços de referência para equipamentos de construção civil. Os preços de referência encontrados são o custo do equipamento por hora de trabalho. Foi consultada a base de dados de preços de referência na construção da AICCOPN (Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas) (AICCOPN, 2008), a base de dados de preços na construção do ITeC (Instituto da Tecnologia da Construção da Catalunha) (ITeC, 2008) e uma base de dados de preços na construção elaborada a partir de programas espanhóis de investigação em medições e orçamentos (PREOC, 2009). Em anexo apresenta-se os custos unitários de todos os equipamentos e mão-de-obra presentes nas fichas (Anexo B – Tabela B.1).

A análise de todas as fontes de preços unitários referidas e a consulta de empresas ligadas ao sector da demolição de estruturas, permitiu elaborar um conjunto de fichas de custos e rendimentos para o sector da demolição de estruturas.

5.3 Caracterização das fichas de custos e rendimentos

Para a realização das fichas de custos e rendimentos, começou-se por efectuar uma separação das fichas por elementos construtivos. Isto é, as fichas estão separadas em

fichas para demolição de paredes, vigas e/ou lajes, pilares e de maciços de fundação ou sapatas. Efectuou-se esta divisão não só para otimizar o aspecto organizacional das fichas como, também, devido à presença de métodos de demolição que são mais apropriados para a demolição de um elemento construtivo e outros que são mais apropriados para outros elementos construtivos. Por exemplo, o martelo hidráulico é o equipamento mais indicado para a demolição de maciços de fundação.

As fichas de custos e rendimentos que compõem a secção de demolição de paredes compreendem a demolição manual de paredes de alvenaria, a demolição manual de paredes de betão armado, a demolição de paredes de betão armado com martelo pneumático ou hidráulico, a demolição de paredes de betão armado com tesouras de corte de betão acopladas a escavadoras ou mini-escavadoras hidráulicas, a demolição de paredes de alvenaria com mini-escavadora com balde, o corte de paredes de betão armado com recurso a equipamentos de corte diamantado e a demolição de muros de betão armado com recurso a cunhas e mandíbulas hidráulicas. As espessuras das paredes de alvenaria consideradas para a elaboração destas fichas foram 0,15 m (alvenaria tijolo 11 com revestimentos) e 0,30 m (parede dupla de tijolo 15 e tijolo 11 com revestimentos). Nas paredes de betão armado foram consideradas as espessuras de 0,15 m, 0,20 m e 0,30 m.

A demolição de vigas e lajes engloba as operações de demolição de elementos construtivos horizontais. As fichas elaboradas para este tipo de trabalhos compreendem a demolição manual, a demolição com martelos pneumáticos e hidráulicos, a demolição com tesouras de corte de betão acopladas a escavadoras ou mini-escavadoras, o corte de elementos de laje ou viga com ferramentas diamantadas e a demolição de lajes com sistemas de cunhas hidráulicas, mandíbulas hidráulicas ou martelo pilão. As espessuras das lajes consideradas foram 0,20 m e 0,30 m por serem, geralmente, as espessuras mais utilizadas neste sistema construtivo.

As fichas de custos e rendimentos de operações de demolição de pilares compreendem a demolição manual com recurso a ferramentas ligeiras, demolição mecânica com recurso a martelos manuais pneumáticos ou hidráulicos, demolição mecânica com martelos hidráulicos ou tesouras de corte de betão acopladas a

escavadoras ou mini-escavadoras e o corte de elementos de pilares em betão armado com recurso a ferramentas de corte diamantado. As dimensões das secções dos pilares, geralmente variam muito dentro de uma construção, pelo que as fichas foram elaboradas para a demolição de 1 m³ de volume de betão armado em pilar.

A demolição de maciços de fundação ou sapatas em betão armado é, geralmente, realizada com recurso a martelos de demolição devido às grandes dimensões dos elementos a demolir. Assim, as fichas relativas à demolição de sapatas compreendem a demolição mecânica com recurso a martelos manuais pneumáticos e hidráulicos, demolição mecânica com martelos hidráulicos acoplados a escavadoras e mini-escavadoras. As fichas referentes à demolição de maciços de fundação em betão armado foram elaboradas para a quantificação do trabalho em operações de demolição de 1 m³ de volume de betão armado.

As operações de transporte de resíduos de demolição dentro e fora do local da obra também forma quantificadas para a elaboração de fichas de custos e rendimentos. O transporte de resíduos para fora do local de obra será realizado com camiões de 26 ou 32 toneladas para transporte de materiais. Caso a obra de demolição justifique a presença de uma central de reciclagem móvel, existe a necessidade de se proceder ao transporte dos resíduos da demolição para a central de reciclagem móvel. Caso a central de reciclagem seja fora do local de demolição, é necessário transportar os resíduos de demolição para a central.

A Tabela 4 exemplifica uma ficha de custo e rendimento para a demolição de 1 m³ de parede de betão armado com 15 cm de espessura. De seguida serão analisados todos os parâmetros que compõem uma ficha de custos e rendimentos.

Tabela 4. Exemplo de ficha de custo e rendimento para demolição de parede de alvenaria de tijolo

Data ⁽¹⁾ : Ago/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO ⁽²⁾ (Unidade = m ²)	B.1.6.1 ⁽⁹⁾	
Demolição de paredes de betão armado com 0,15 m de espessura				
Rendimento ⁽⁵⁾	Unidade ⁽⁴⁾	Recursos utilizados ⁽³⁾	Custos (€)	
			Unitários ⁽⁶⁾	Totais ⁽⁷⁾
0,060	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com tesoura de corte de betão de 300 kg	35,00	2,10
0,060	h	Operador	9,00	0,54
0,210	l	Gasóleo	1,04	0,22
			Total ⁽⁸⁾	2,86

em que:

- (1) Representa a data de actualização de valores e dados da ficha;
- (2) Descrição da operação de demolição e do elemento construtivo que irá ser demolido;
- (3) Representa o recurso utilizado para proceder à operação de demolição e descreve os equipamentos utilizados;
- (4) Representa a unidade em que o recurso utilizado é quantificado;
- (5) Representa o rendimento do recurso apresentado perante a realização da operação de demolição. Por exemplo, a mini-escavadora hidráulica com tesoura de corte de betão consegue demolir 1 m² de parede de betão armado em 0,06 horas.
- (6) Representa o custo por unidade do recurso utilizado na operação de demolição;
- (7) Representa o custo da operação de demolição realizada pelo recurso correspondente. É igual ao custo unitário vezes o rendimento;
- (8) Representa o custo total da operação de demolição. Corresponde ao somatório dos custos dos recursos utilizados.
- (9) Código de identificação da ficha no Anexo B.

Os valores do rendimento de um recurso são apresentados em condições normais de operação, isto é, as condições climatéricas, a eficiência dos recursos e as condições presentes no local de obra não perturbam o rendimento dos recursos.

Apesar de nas fichas apresentadas, serem referidos vários processos de demolição, existem outros métodos que possuem um método de quantificação de rendimento ou custo mais complexo e que não foram introduzidos nestas fichas. A demolição de maciços de fundação ou pavimentos em betão armado por acção de agentes expansivos possui um método complexo em termos de quantificação de rendimentos porque após a colocação da mistura expansiva na furação é necessário esperar em média 24 horas até obter-se resultados satisfatórios. Pela necessidade de existir este período em que a mistura expande, torna-se difícil a quantificação do rendimento desta operação.

Estão presentes métodos de demolição nas fichas de custos e rendimentos que envolvem custos unitários elevados tais como o método de corte de elementos de betão armado com recurso a ferramentas diamantadas. Os custos unitários elevados dos equipamentos assim como dos operadores deve-se ao facto de existirem poucas pessoas especializadas na operação de ferramentas diamantadas e de os equipamentos e os seus consumíveis possuírem um elevado preço de aquisição. A qualidade do diamante presente nas ferramentas de corte influencia o preço dos consumíveis.

O processo de demolição de um edifício por intermédio de aplicação de cargas explosivas em elementos de suporte da estrutura é um processo que envolve elevados custos.. Isto, porque os custos envolvidos na demolição de uma estrutura com recurso a cargas explosivas são direccionados para cobrarem o “know how” dos técnicos acerca desta técnica e que estudam aplicação das cargas explosivas no edifício. Os consumíveis desta técnica, ou seja, as cargas explosivas possuem um preço relativamente baixo. Apenas de forma informativa, o preço das cargas explosivas custa, em média, cerca de 1,50 €/kg. Assim, torna-se evidente que o que influencia o preço de uma demolição com recurso a cargas explosivas é o “know-how” da empresa e dos seus profissionais que aplicam a técnica, os seguros, a segurança e os riscos associados a este tipo de demolição e os softwares e meios informáticos utilizados na execução da detonação das cargas explosivas.

Capítulo 6. Conclusões Gerais

Como foi referido no capítulo de introdução a esta dissertação, o sector da demolição de estruturas tem vindo a sofrer um forte crescimento ao longo do tempo. Este facto deve-se, principalmente, ao mau estado de conservação das estruturas existentes no parque habitacional e à necessidade de promover a demolição de edifícios obsoletos e não habitáveis para dar lugar a novas construções. Esta gestão de edifícios acontece, geralmente, nos grandes centros urbanos onde a falta de área disponível para construção de novas estruturas é escassa ou mesmo inexistente. Por outro lado, proporciona que haja países mais desenvolvidos na área da demolição de estruturas, como por exemplo o Japão que é pioneiro na aplicação e estudo de novas técnicas de demolição. Como em Portugal a construção em altura não está tão desenvolvida como em outros países, o sector da demolição de estruturas ainda permanece algo limitado e adormecido e, consequentemente, com menos conhecimento e pouco desenvolvido na aplicação de técnicas de demolição.

Um aspecto analisado nesta dissertação e que apresenta alguma carência de reflexão e análise por parte dos técnicos responsáveis é a elaboração de um projecto de demolição. Os projectos de demolição de uma estrutura, normalmente, resumem-se a um plano de segurança e saúde, que pelo Decreto-Lei N° 273 de 2003 é obrigatório para todas as obras que envolvam riscos especiais. Em Portugal, não existe uma regulamentação específica para a execução de demolição de estruturas, havendo apenas referência a obras de demolição no Regulamento de Segurança no Trabalho de Construção Civil (Decreto-Lei N° 41821 de 1958). Contudo, um projecto de demolição adequado envolve mais parâmetros que devem ser referidos e analisados. No capítulo 2 desta dissertação realizou-se uma análise a normas estrangeiras que definem directivas e regras para a elaboração e execução de um projecto de demolição. Através desta análise, foi possível idealizar e apresentar uma proposta de estratégia de demolição, que deve ser considerada pelos técnicos projectistas na elaboração de um projecto de demolição. A proposta de novos procedimentos a tomar na realização de um projecto de demolição foi

também sustentada com estudos efectuados por diversos autores no âmbito da optimização da execução dos projectos de demolição.

Conclui-se que antes de partir para a demolição de um edifício antigo que atingiu o seu limite de vida útil, deve-se verificar as possibilidades de o edifício ser remodelado ou deslocalizado, caso o edifício esteja sujeito a acções severas naquele local que impliquem a sua degradação e, conseqüentemente, o perigo de colapso. Caso a solução encontrada para o edifício seja a demolição, deve-se verificar a possibilidade de execução de uma demolição selectiva conforme o plano de gestão dos resíduos.

Conclui-se com a elaboração deste capítulo, que o planeamento da gestão dos resíduos de demolição deve ser efectuado antes da escolha do método de demolição e após inspecção e avaliação da estrutura a demolir. Caso sejam aproveitados componentes provenientes da estrutura, a demolição deverá ser realizada de modo selectiva e cuidada e, conseqüentemente, o método de demolição deverá ser cuidadosamente seleccionado. Deste modo, concluiu-se que a demolição de uma estrutura poderá possuir um método de demolição para realizar a demolição selectiva e outro método para demolir o restante da estrutura.

Torna-se importante referir que a elaboração do plano de segurança e saúde deverá considerar o método de demolição seleccionado, já que a cada método de demolição estão associados diferentes riscos ou perigos.

Demonstra-se, também, que a fase de demolição de uma estrutura é tão importante como outras fases que compõem o ciclo de uma estrutura, tais como a fase de projecto, a fase de construção e a fase de utilização e manutenção.

No capítulo 3 são demonstrados os diversos métodos de demolição, as suas vantagens e as suas limitações dependendo do trabalhos a efectuar. Isto é, a eficiência de um método de demolição está relacionada com o tipo de trabalho que este vai efectuar. Assim, não é possível dizer-se que um método de demolição é pior que outro, ou que é mais vantajoso. Neste capítulo são referidos métodos que têm uma baixa taxa de utilização por parte das empresas de demolição em Portugal, mas que no entanto, podem possuir pontos fortes na realização de certos trabalhos. Pretendeu-se com a realização deste capítulo demonstrar a aplicabilidade dos vários métodos de demolição e, também,

a realização de uma caracterização e especificação de alguns equipamentos e dispositivos utilizados na aplicação dos métodos de demolição.

A visita e acompanhamento da demolição da passagem superior sobre a auto-estrada A25 na zona de Angeja – Aveiro, no âmbito da construção do nó de ligação entre a A25 e a A29, permitiu assimilar e apreender melhor os procedimentos práticos realizados pelas empresas especializadas em demolição presentes em obra. Deste acompanhamento, verificou-se que deverá ser considerada a possibilidade de presença de equipamentos de reserva para o caso de se verificarem avarias nos equipamentos que estão em funcionamento. Isto porque, no decorrer da obra ocorreram avarias em equipamentos mecânicos que deixaram de operar, verificando-se um consequente atraso da obra.

Durante a elaboração do capítulo 5 desta dissertação que incide sobre a realização das fichas de custos e rendimentos surgiram várias dificuldades em conseguir reunir os custos e os rendimentos de algumas operações de demolição. A consulta feita a empresas de demolição, evidenciou uma dificuldade por parte destas em facultar os valores pedidos. Contudo, para a elaboração das fichas utilizou-se valores médios obtidos na consulta dessas empresas. Em relação à obtenção dos custos horários dos equipamentos utilizados, a consulta a empresas de aluguer de equipamentos mostrou ser a via mais adequada. No entanto, algumas dessas empresas não facultavam esses valores por questões de sigilo e de segurança.

A elaboração das fichas de custos e rendimentos permitiu concluir que os trabalhos de demolição com recurso a escavadoras hidráulicas de demolição possuem um custo horário elevado mas têm, em contrapartida, um rendimento elevado, ao contrário dos equipamentos de corte diamantado que para além do custo horário ainda acresce o preço dos consumíveis diamantados que são relativamente elevados. Os equipamentos de corte diamantado possuem um baixo rendimento, no entanto, realizam um corte de grande precisão e um acabamento de boa qualidade.

Para a realização das fichas de custos e rendimentos apenas se considerou o custo horário dos equipamentos e da mão-de-obra e, também, o rendimento horário dos equipamentos nas operações realizadas. Por isso, torna-se importante referir o facto de

não se considerar o custo de transporte dos equipamentos, principalmente, de equipamentos de grandes dimensões que podem originar custos de transporte elevados. Por exemplo, apesar de o custo de demolição de 1 m³ de parede de betão armado com escavadora hidráulica de 20 toneladas ser relativamente baixo, o custo de transporte será uma importante fracção que inflacionará o preço final de custo da operação.

Verificou-se, também, a existência de técnicas que possuem um custo horário elevado e baixo rendimento tais como a demolição de elementos de betão com mandíbulas hidráulicas. Esta situação deve-se ao facto de ser um equipamento pouco comercializado em Portugal e de o seu preço de aquisição ser elevado.

Assim, as fichas realizadas no decorrer desta dissertação permitem efectuar uma comparação, em termos de custos e de eficiência, entre as várias técnicas de demolição mais utilizadas na indústria da demolição de estruturas em Portugal. É uma base importante que pode ser utilizada na selecção da técnica de demolição por parte dos técnicos responsáveis na elaboração dos projectos de demolição.

6.1 Desenvolvimentos futuros

Em países como o Reino Unido ou a Alemanha, existe uma legislação e regulamentação especificamente para a demolição de estruturas. Como já foi referido nesta dissertação, Portugal não possui qualquer documento normativo que regule a execução de um projecto de demolição ou especifique os procedimentos ou a sequência de trabalhos que se devem tomar na obra de demolição. Por isso, propõe-se para o futuro, como continuação desta dissertação, a elaboração de um documento que especifique as diversas fases na elaboração de um projecto de demolição, assim como, os procedimentos necessários a tomar na realização das diferentes técnicas de demolição. Em resumo, propõe-se a elaboração de um código de práticas de demolição de estruturas dentro da filosofia dos códigos de práticas já existentes no Reino Unido ou na Alemanha.

Propõe-se, também, a realização de uma optimização das fichas de custos e rendimentos elaboradas, no sentido de acrescentar parcelas importantes aos custos totais das operações como, por exemplo, o custo de transporte ou o custo de

manutenção dos equipamentos que não foram considerados nas fichas elaboradas no decorrer desta dissertação.

A criação de ferramentas de apoio à gestão e ao planeamento de uma obra de demolição, assim como à gestão dos resíduos de demolição originados é importante para o desenvolvimento e aperfeiçoamento da execução de um projecto de demolição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, A., e Anumba, C. J. (2002). Decision Criteria for the Selection of Demolition Techniques. Salford University, Salford, UK, pp. 410-419.
- AICCOPN - Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas (2008). Preços de Referência na Construção. Obtido em 9.07.2009 de <http://prc.aiccopn.pt/>
- AEDED - Asociación Española de Empresarios de Demolición (2008). El Proyecto de Demolición. Demolición & Reciclaje, Fueyo Editores, Madrid
- Alonso, A. (2009a). Demolición con medios mecánicos, principios y métodos. Jornadas sobre deconstrucción, Salamanca
- Alonso, A. (2009b). El proyecto de demolición, Jornadas sobre deconstrucción, Salamanca
- Anka, D. (2009). Demolición manual, principios y casos prácticos, Jornadas sobre deconstrucción, Salamanca
- Anzeve (2009). Demolición Técnica - Catálogo general.
- Arif, A., Yilbas, B., e Aleem, B. A. (2009). Laser cutting of thick sheet metals: Residual stress analysis. Optics & Laser Technology 41, 224-232.
- Atlas Copco (2006a). Concrete crushers and pulverizers, Atlas Copco Construction Tools GmbH
- Atlas Copco (2006b). Demolição Profissional - A ferramenta adequada para cada trabalho, Atlas Copco Construction Tools GmbH
- Atlas Copco (2008). Safety an operating instructions petrol hammers. Atlas Copco Construction Tools GmbH
- Brito, J. (1999). Técnicas de demolição de edifícios correntes, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa
- Brokk (2008a). Brokk - Attachments

Brokk (2008b). Brokk 400 - Technical Data

BS 6187 (2000). Code of practice for demolition, British Standards

Bustar (2008). Bustar Expanding Grout - Demolition Technologies Incorporated.

Couto, A. B., Couto, J. P., e Teixeira, J. M. C. (2006). Desconstrução - Uma ferramenta para sustentabilidade da construção, Seminário Brasileiro da Gestão do Processo de Projecto na Construção de Edifícios, São Paulo, Brasil

Crouse, P. L., Li, L., e Spencer, J. T. (2004). Performance comparison of CO₂ and diode lasers for deep-section concrete cutting. *Thin Solid Films* 453-454, 594-599.

Darda (2008a). Combi-shears - Cutting, breaking and separating, Darda GmbH

Darda (2008b). Splitter - Hydraulic rock and concrete splitters, Darda GmbH

DeWalt (2007). Martelos Demolidores. DeWalt Portugal

Diamant Boart (2008). Ferramentas diamantadas para a indústria da pedra

Díaz, I. (2009). Introducción a la reparación de hormigón y a la hidrodemolición, Jornadas sobre deconstrucción, Salamanca

Dijk, K., Boedianto, P., e Dorsthorst, A. (2000). State of the Art Deconstruction in the Netherlands: Overview of Deconstruction in Selected Countries, CIB Publication

DOE - Department of Energy of United States, U. D. O. E. ed. (1998). Remote Control Concrete Demolition System

Dzur, B. (2007). Plasma Processing of Concrete and Related Materials. *HighTempMatProc* 11, 493-503.

Ersoy, A., e Atıclı, U. (2004). Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks. *Diamond and Related Materials* 13, 22-37.

Ezebreak (2008). Micro-blaster - Instruction Manual.

Fernandez, A. (2009). Introducción al diamante, Jornadas sobre deconstrucción, Salamanca

- Filgueira, M., e Pinatti, D. G. (2002). In situ diamond wires: Part I. The Cu-15 vol.% Nb high strength cable. *Journal of Materials Processing Technology* 128, 191-195.
- Fueyo, L. ed. (2003). Manual de demoliciones, reciclaje y manipulación de materiales, Fueyo Editores, Madrid
- Gahan, B. (2002). Laser Drilling: Understanding Laser/Rock Interaction Fundamentals, Gas Technology Institute
- Goldfarb, V., e Gannon, R. (1995). Concrete Decontamination by Electric-hydraulic Scabbling, Environmental Technology Development through Industry Partnership, Morgatown, West Virginia
- Gomes, R. (2000). Demolição de estruturas pelo uso controlado de explosivos, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa
- Gomes, R. (2003). Novas tecnologias na iniciação de cargas explosivas. Proelium, Academia Militar, Lisboa
- Gomez, E., Rani, D. A., Cheeseman, C., Deegan, D., Wise, M., e Boccaccini, A. (2009). Thermal plasma technology for the treatment of wastes: A critical review. *Journal of Hazardous Materials* 161, 614-626.
- Grider, O. (2006). Application Tips: Drop hammers. Obtido em 22.07.2009 de <http://www.equipmentworldmagazine.com/apps/news/articleeqw.asp?id=52739>
- Hayashi, H., Soeda, K., Hida, T., e Kanbayashi, M. (1994). Non-Explosive Demolition Agent in Japan, Demolition and Reuse of Concrete, RILEM
- Hilmersson, S. (1999). Hydrodemolition of concrete structures: Basics and field experience, *Water Jet Applications in Construction Engineering*, pp. 163-187.
- Hilmersson, S. (2008). Hydro-demolition keeps Gotthard Tunnel on track. *Concrete engineering* 12, 14.
- HKBD - Hong Kong Building Department (2004). Code of practice for Demolition of Buildings, Hong Kong
- Husqvarna (2009). Husqvarna Construction Products.

Indeco (2008). Hydraulic Breakers HP Series, Indeco Ind. S.p.A.

ITeC - Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (2008). Precios Construcción y Pliegos de Condiciones Técnicas. Obtido em 9.07.2009 de <http://www.construmatica.com/bedec/>

Jerby, E., e Dikhtyar, V. (2001). Drilling into hard non-conductive materials by localized microwave radiation, 8th Ampere Proceedings, Bayreuth, Germany

Jerby, E., e Thompson, A. (2004). Microwave Drilling of Ceramic Thermal-Barrier Coatings. Journal of American Ceramic Society, 308-310.

Keller, G. (2007). Hydro-demolition speeds reactor dome entry. Burns and Roe Inc. 151.

Komatsu (2009). Hydraulic Excavator - High Reach Demolition, Komatsu Europe International

Lauritzen, E. (2000). The role of blasting techniques in the demolition industry. Em Explosives and Blasting Technique, Balkema, Rotterdam

Lauritzen, E. K. (1994). Demolition and reuse of concrete and masonry, Taylor & Francis

Linß, E., e Mueller, A. (2003). The electro-hydraulic Comminution for the separation of old concrete. Deconstruction and Materials Reuse - CIB, International Council for Research and Innovation in Building Construction.

Liu, C., Pun, S., e Langston, C. (2005). A preliminary study on building demolition engineering and management. World Transactions on Engineering and Technology Education 4, 201-207.

Lourenço, C. (2007). Optimização de sistemas de demolição - demolição selectiva, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa

Manning, D. G. (1991). Removing concrete from bridges, Transportation Research Board

Manso, A. C., Fonseca, M. S., e Espada, J. C. (2004). Informação sobre Custos: Fichas de Rendimentos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa

Medina, S. (2007). Evaluación histórica del sector de la demolición. Demolición e Reciclaje, Fuego Editores, Madrid

- Momber, A. W. (2000). Concrete failure due to air-water jet impingement. *Journal of Materials Science* 35, 2785-2789.
- Momber, A. W. (1998). *Water Jet Applications in Construction Engineering* 1.º ed., A. A. Balkema, Rotterdam
- Momber, A., e Louis, H. (1994). On the behaviour of concrete under water jet impingement. *Materials and Structures* 27, 153-156.
- Nakagawa, W. (1994). Recent Demolition Techniques using Electric Power in Japan, Demolition and Reuse of Concrete, RILEM
- Narimanyan, A. (2009). Unilateral conditions modelling the cut front during plasma cutting: FEM solution. *Applied Mathematical Modelling* 33, 176-197.
- Nutsch, G., Dzur, B., Rother, W., Schilling, J., e Schwarze, A. (1999). Thermal Cutting of Concrete and Related Materials DC Plasma Jet, Second International Symposium on Heat and Mass Transfer Under Plasma Conditions, Atalya, Turkey
- Park&Co (2007). Case Study: Brokk Breaking Away.
- PREOC (2009). Precios de Edificación y OBra Civil en España. Obtido em 10.07.2009 de <http://www.preoc.es/>
- Pun, S., Liu, C., e Langston, C. (2006). Case study of demolition costs of residential buildings. *Construction Management and Economics*, 967-976.
- Rule, K., Perry, E., e Parsells, R. (2003). Diamond Wire Cutting of the Tokamak Fusion Test Reactor, WM'03 Conference, Tucson
- Sánchez, M. (2009). Introducción al uso de explosivos en demolición, Jornadas sobre desconstrucción, Salamanca
- Santamaria, E. (2009a). Corte por oxitermia, Jornadas sobre desconstrucción, Salamanca
- Santamaria, E. (2009b). Principios y aplicaciones de corte con hilo diamantado, Jornadas sobre desconstrucción, Salamanca
- STET - Sociedade Técnica de Equipamentos e Tratores (2004). Ficha técnica Nº13 - Multiprocessador.

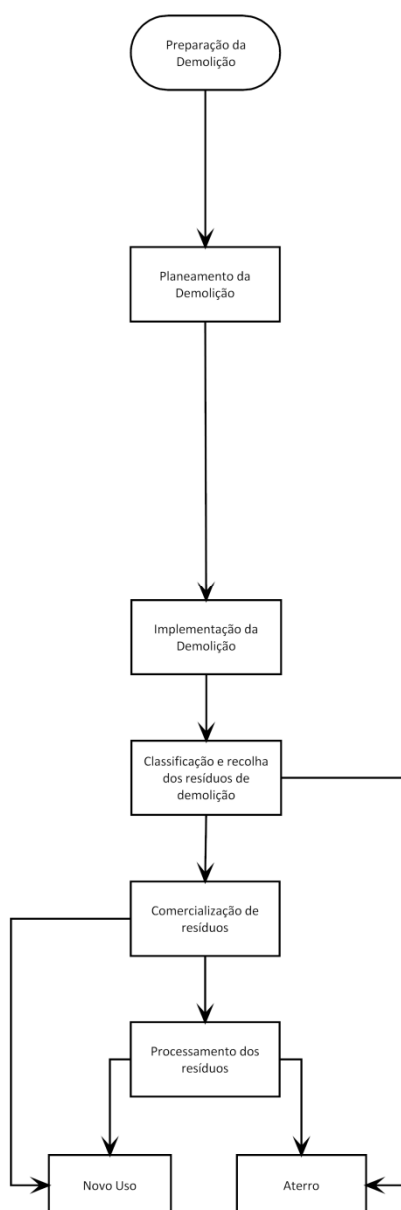
- Sung, C. -. (1999). Brazed diamond grid: a revolutionary design for diamond saws. *Diamond and Related Materials* 8, 1540-1543.
- Tyrolit (2008). Catálogo de produtos de construção, Tyrolit Portugal
- Velasco, I. (2009). Principios y aplicaciones de la perforación con diamante, Jornadas sobre deconstrucción, Salamanca
- Wang, H., Pranda, P., e Hlavacek, V. (2004). The eutectic generation effect and chemical modification of thermal lance cutting of concrete. *Journal of Materials Science* 39, 7003-7008.
- Williams, G. (1993). The Explosive Demolition of Tall Buildings, Demolition and Reuse of Concrete - proceedings of the third international RILEM Symposium, Odense, Denmark
- Zukas, J. A., e Walters, W. P. (2002). *Explosive Effects and Applications*, Springer

Anexos

Anexos

Anexo A

Procedimento de demolição convencional



Procedimento de demolição proposto

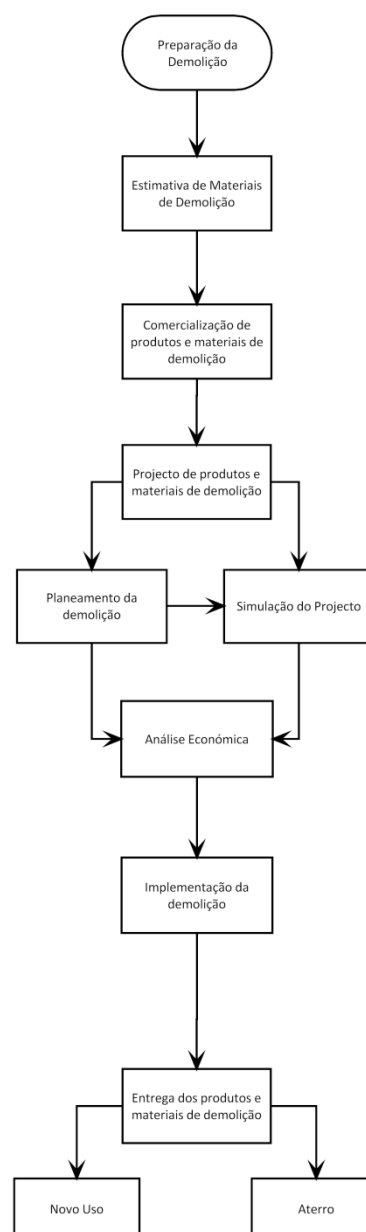


Figura A.1. Fluxogramas de procedimentos apresentados por Liu e tal. (2005) – Procedimento de demolição convencional vs procedimento de demolição proposto

Tabela A.1. Características gerais de alguns métodos de demolição. Adaptado de HKBD (2004)

Método	Aplicabilidade				Características de trabalho			Aspectos ambientais				Observações
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Efeitos secundários	Eficiência	Condições gerais	Ruídos	Vibrações	Poeiras	Outros	
Demolição progressiva com martelos manuais pneumáticos e hidráulicos	Não	..	Demolição piso a piso e necessidade de estabelecer medidas de precaução para o local de trabalho.	•	..	•		Campo de aplicação amplo. Eficiente em locais estreitos e de difícil acesso.
Demolição progressiva com mini-escavadoras com martelo	Não	...	Demolição piso a piso e necessidade de estabelecer medidas de precaução para o local de trabalho. Suporte adequado no piso para a máquina.	•	•	•		Campo de aplicação amplo. Grande mobilidade.
Demolição progressiva com mini-escavadoras com tesoura	Não	...	Demolição piso a piso e necessidade de estabelecer medidas de precaução para o local de trabalho. Suporte adequado no piso para a máquina.	...	•	•		Campo de aplicação amplo. Grande mobilidade. Capacidade de separar as armaduras de reforço em aço do betão.
Escavadora hidráulica com tesoura e com lança de demolição	Não	...	Entrada restrita no local de obra. Espaço de trabalho limpo e superfície de trabalho plana e firme.	..	•	•		Campo de aplicação amplo. Grande mobilidade. Capacidade de separar as armaduras de reforço em aço do betão.
Bola de grande massa	...	••	••	...	Não	...	Entrada restrita no local de obra. Espaço de trabalho limpo e superfície de trabalho plana e firme.	..	•	•	Protecções contra projecções de material.	Pouca eficiência na demolição de pilares e fundações subterrâneos.

Tabela A.2. Continuação da tabela anterior

Demolição com explosivos	...	...	•	•	•	•	•	•	Protecção de ruídos, projecções e vibrações. Engenharia de explosivos. Notificações e evacuações da vizinhança. Controlar e gerir com cuidado as cargas explosivas.	•	•	•	•	Protecções contra projecções de material.	Excelente força de demolição. Reduz o período de trabalho. Requer uma avaliação de riscos para se poder efectuar a demolição.
Demolição por derrube com maquinaria mecânica a partir do exterior da estrutura	...	...	•	•	•	•	•	•	Prevenir o derrube da estrutura na direcção errada e o não controlo do colapso. Superfície de trabalho firme.	•	•	•	•	Protecção contra vibrações.	Pouca eficiência na demolição de estruturas subterrâneas.
Corte com disco diamantado ou com serra diamantada	...	...	•	•	•	•	•	•	Plataforma de trabalho sólida. Equipamento de elevação para os elementos cortados.	•	•	•	•	Requer drenagem.	Permite uma separação precisa.
Corte com fio diamantado	...	...	•	•	•	•	•	•	Plataforma de trabalho sólida. Equipamento de elevação para os elementos cortados. Medidas preventivas para o perigo de o fio partir.	•	•	•	•	Requer drenagem.	Permite uma separação precisa. Eficiente no corte de estruturas maciças.
Carotagem	•	•	•	•	•	•	•	•	Plataforma de trabalho sólida.	•	•	•	•		Permite uma separação precisa. Eficiente no corte de estruturas maciças.
Agente de demolição expansivo	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•		Eficiente na demolição de fundações.
Lança térmica	•	•	•	•	•	•	•	•	Protecções contra o calor intensivo provocado.	•	•	•	•	Protecções contra o fogo.	
Hidrodemolição - jacto de água	•	•	•	•	•	•	•	•	Protecções contra a alta pressão da água provocada.	•	•	•	•	Requer drenagem. Reciclagem da água utilizada.	

Legenda da tabela:

Aplicabilidade:

- Aplicável
- Pouco Aplicável
- Não Aplicável

Eficiência de Demolição:

- Boa eficiência
- Eficiência média
- Fraca eficiência

Poeiras:

- Fraco
- Médio
- Elevado

Vibrações:

- Efeito não sentido pelo corpo humano
- Efeito pouco sentido pelo corpo humano
- Efeito sentido moderadamente pelo corpo humano
- Efeito sentido significativamente pelo corpo humano

Ruídos (30 m de distância):

- 70 dB(A) ou abaixo
- 70 - 74 dB(A)
- 75 - 79 dB(A)
- 80 dB(A) ou acima

Anexo B – Fichas de Custos e Rendimentos

Custos Unitários

Tabela B.1. Custos unitários utilizados no cálculo do preço das operações de demolição consideradas

Descrição	Unidade	Custo Unitário	Descrição	Unidade	Custo Unitário
Escavadora hidráulica 20 t com martelo de demolição	h	60,00 €	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com tesoura de corte de betão até 300 kg	h	35,00 €
Escavadora hidráulica 20 t com tesoura de corte de betão	h	60,00 €	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com tesoura de corte de aço até 300 kg	h	30,00 €
Escavadora hidráulica 30 t com tesoura de corte de betão	h	70,00 €	Macacos hidráulicos	h	1,00 €
Escavadora hidráulica 40 t com tesoura de corte de betão	h	80,00 €	Cunha hidráulica	h	1,00 €
Conjunto industrial (Retro)	h	20,00 €	Equipamento de corte com disco diamantado para parede a diesel	h	40,00 €
Martelo pneumático	h	2,00 €	Equipamento de corte com disco diamantado para pavimentos	h	30,00 €
Compressor	h	10,00 €	Equipamento de corte com fio diamantado	h	50,00 €
Unidade hidráulica	h	3,50 €	Operador de corte	h	15,00 €
Martelo hidráulico	h	3,75 €	Ajudante de corte	h	15,00 €
Martelo eléctrico (10-12 kg)	h	3,00 €	Equipamentos de corte com serra diamantada	h	5,00 €
Camião Dumper 8 m ³	h	34,00 €	Maçarico Oxicorte	h	8,00 €
Condutor de dumper	h	9,00 €	Operador de oxicorte	h	9,00 €
Trolha	h	5,00 €	Camião de transporte de materiais de 26 t	h	30,00 €
Servente	h	6,00 €	Camião de transporte de materiais de 32 t	h	35,00 €
Pedreiro	h	9,00 €	Mandíbulas de demolição	h	10,00 €
Operador de máquina	h	9,00 €	Bobcat com martelo pilão	h	30,00 €
Caroteadora 200 mm	cm	1,25 €	Pá carregadora de 26 t	h	60,00 €
Fio diamantado	m ²	320,00 €			
Gasóleo	l	1,04 €			
Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com balde	h	25,00 €			
Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com martelo hidráulico até 300 kg	h	35,00 €			

B.1 Demolição de Paredes

B.1.1 Demolição manual de paredes de alvenaria

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)		B.1.1.1	
Demolição manual de paredes de alvenaria de tijolo com 0,15 m de espessura com ferramentas ligeiras					
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)		
			Unitários	Totais	
1,300	h	Servente	6,00	7,80	
			Total	7,80	

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.1.2	
Demolição manual de paredes duplas de alvenaria de tijolo com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
2,670	h	Servente	6,00	16,02
			Total	16,02

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.1.3	
Demolição de paredes de alvenaria de tijolo com 0,15 m de espessura com martelo eléctrico				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,650	h	Servente	6,00	3,90
0,650	h	Martelo manual demolidor de 10-12kg	3,00	1,95
			Total	5,85

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.1.4	
Demolição de paredes duplas de alvenaria de tijolo de 0,30 m de espessura com martelo eléctrico				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,300	h	Servente	6,00	7,80
1,300	h	Martelo manual demolidor 10-12kg	3,00	3,90
			Total	11,70

B.1.2 Demolição manual de paredes de betão armado

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m²)		B.1.2.1	
Demolição de parede de betão armado com 0,15 m de espessura com ferramentas ligeiras					
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)		
			Unitários	Totais	
2,500	h	Servente	6,00	15,00	
			Total	15,00	

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)		B.1.2.2	
Demolição de parede de betão armado com 0,20 m de espessura com ferramentas ligeiras					
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)		
			Unitários	Totais	
3,330	h	Servente	6,00	19,98	
			Total	19,98	

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)		B.1.2.3	
Demolição de parede de betão armado com 0,30 m de espessura com ferramentas ligeiras					
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)		
			Unitários	Totais	
5,000	h	Servente	6,00	30,00	
			Total	30,00	

B.1.3 Demolição de parede de betão armado com martelo pneumático

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.3.1	
Demolição de parede de betão armado com 0,15 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,500	h	Martelo pneumático	2,00	1,00
0,500	h	Compressor	10,00	5,00
0,500	h	Operador	9,00	4,50
			Total	10,50

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.3.2	
Demolição de parede de betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,670	h	Martelo pneumático	2,00	1,34
0,670	h	Compressor	10,00	6,70
0,670	h	Operador	9,00	6,03
			Total	14,07

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.3.3	
Demolição de parede de betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,000	h	Martelo pneumático	2,00	2,00
1,000	h	Compressor	10,00	10,00
1,000	h	Operador	9,00	9,00
			Total	21,00

B.1.4 Demolição de paredes de betão armado com martelo hidráulico

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.4.1	
Demolição de parede de betão armado com 0,15 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,100	h	Martelo hidráulico	3,75	0,38
0,100	h	Unidade hidráulica	3,50	0,35
0,100	h	Operador	9,00	0,90
			Total	1,63

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.4.2	
Demolição de parede de betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,133	h	Martelo hidráulico	3,75	0,50
0,133	h	Unidade hidráulica	3,50	0,47
0,133	h	Operador	9,00	1,20
			Total	2,16

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)		B.1.4.3	
Demolição de parede de betão armado com 0,30 m de espessura					
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)		
			Unitários	Totais	
0,200	h	Martelo hidráulico	3,75	0,75	
0,200	h	Unidade hidráulica	3,50	0,70	
0,200	h	Operador	9,00	1,80	
			Total	3,25	

B.1.5 Demolição de paredes de alvenaria com mini-escavadora hidráulica com balde

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.5.1	
Demolição de paredes de alvenaria de tijolo com 0,15 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,040	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com balde	25,00	1,00
0,040	h	Operador	9,00	0,36
0,140	l	Gasóleo	1,04	0,15
			Total	1,51

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.5.2	
Demolição de paredes de alvenaria de tijolo com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,080	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com balde	25,00	2,00
0,080	h	Operador	9,00	0,72
0,280	h	Gasóleo	1,04	0,29
			Total	3,01

B.1.6 Demolição de paredes de betão armado com mini-escavadora hidráulica
com tesoura de corte de betão

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.6.1	
Demolição de paredes de betão armado com 0,15 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,060	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com tesoura de corte de betão até 300 kg	35,00	2,10
0,060	h	Operador	9,00	0,54
0,210	l	Gasóleo	1,04	0,22
			Total	2,86

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.6.2	
Demolição de paredes de betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,080	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com tesoura de corte de betão até 300 kg	35,00	2,80
0,080	h	Operador	9,00	0,72
0,280	h	Gasóleo	1,04	0,29
			Total	3,81

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.6.3	
Demolição de paredes de betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,120	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com tesoura de corte de betão até 300 kg	35,00	4,20
0,120	h	Operador	9,00	1,08
0,420	l	Gasóleo	1,04	0,44
			Total	5,72

B.1.7 Demolição de paredes de betão armado com escavadora hidráulica com tesoura de corte de betão

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.7.1	
Demolição de parede de betão armado com 0,15 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,025	h	Escavadora hidráulica de 30 t com tesoura de demolição de 2,4 t	70,00	1,75
0,025	h	Operador	9,00	0,23
0,475	l	Gasóleo	1,04	0,49
			Total	2,47

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.7.2	
Demolição de parede de betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,033	h	Escavadora hidráulica de 30 t com tesoura de demolição de 2,4 t	70,00	2,31
0,033	h	Operador	9,00	0,30
0,627	l	Gasóleo	1,04	0,65
			Total	3,26

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.7.3	
Demolição de parede de betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,050	h	Escavadora hidráulica de 30 t com tesoura de demolição de 2,4 t	70,00	3,50
0,050	h	Operador	9,00	0,45
0,950	l	Gasóleo	1,04	0,99
			Total	4,94

B.1.8 Corte de paredes de betão armado com disco diamantado

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.8.1	
Corte de parede de betão armado com 0,15 m de espessura com disco diamantado de parede (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,075	h	Equipamento de corte de parede com disco diamantado	40,00	3,00
0,075	h	Unidade hidráulica	3,50	0,26
0,075	h	Operador de corte diamantado	15,00	1,13
0,075	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	1,13
			Total	5,51

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.8.2	
Corte de parede de betão armado com 0,20 m de espessura com disco diamantado de parede (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,100	h	Equipamento de corte de parede com disco diamantado	40,00	4,00
0,100	h	Unidade hidráulica	3,50	0,35
0,100	h	Operador de corte diamantado	15,00	1,50
0,100	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	1,50
			Total	7,35

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.8.3	
Corte de parede de betão armado com 0,30 m de espessura com disco diamantado de parede (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,150	h	Equipamento de corte de parede com disco diamantado	40,00	6,00
0,150	h	Unidade hidráulica	3,50	0,53
0,150	h	Operador de corte diamantado	15,00	2,25
0,150	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	2,25
			Total	11,03

B.1.9 Corte de paredes de betão armado com fio diamantado

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.9.1	
Corte de parede de betão armado com 0,15 m de espessura com fio diamantado (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,150	h	Equipamento de corte de parede com fio diamantado	50,00	7,50
0,150	h	Unidade hidráulica	3,50	0,53
0,150	h	Operador de corte diamantado	15,00	2,25
0,150	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	2,25
			Total	12,53

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.9.2	
Corte de parede de betão armado com 0,20 m de espessura com fio diamantado (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,200	h	Equipamento de corte de parede com fio diamantado	50,00	10,00
0,200	h	Unidade hidráulica	3,50	0,70
0,200	h	Operador de corte diamantado	15,00	3,00
0,200	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	3,00
			Total	16,70

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.9.3	
Corte de parede de betão armado com 0,30 m de espessura com fio diamantado (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,300	h	Equipamento de corte de parede com fio diamantado	50,00	15,00
0,300	h	Unidade hidráulica	3,50	1,05
0,300	h	Operador de corte diamantado	15,00	4,50
0,300	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	4,50
			Total	25,05

B.1.10 Demolição de paredes de betão armado com mandíbulas de demolição

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.10.1	
Demolição de paredes de betão armado com 0,15 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,750	h	Mandíbulas de demolição	10,00	7,50
0,750	h	Unidade hidráulica	3,50	2,63
0,750	h	Operador	9,00	6,75
0,750	h	Operador	9,00	6,75
			Total	23,63

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.10.2	
Demolição de paredes de betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,000	h	Mandíbulas de demolição	10,00	10,00
1,000	h	Grupo hidráulico	3,50	3,50
1,000	h	Operador	9,00	9,00
1,000	h	Operador	9,00	9,00
			Total	31,50

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.10.3	
Demolição de paredes de betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,500	h	Mandíbulas de demolição	10,00	15,00
1,500	h	Grupo hidráulico	3,50	5,25
1,500	h	Operador	9,00	13,50
1,500	h	Operador	9,00	13,50
Nota: Equipamento limitado até espessuras de 0,3 m. Perde rendimento quanto			Total	47,25

Nota: Equipamento limitado até espessuras de 0,3 m. Perde rendimento quanto maior for a espessura do elemento a demolir.

B.1.11 Demolição de muros de betão armado com sistema de cunha hidráulica

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.11.1	
Demolição de muros de betão armado com 0,15 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,240	h	Sistema de cunha hidráulica <i>Darda</i>	1,00	0,24
0,240	h	Unidade hidráulica	3,50	0,84
0,240	h	Operador	9,00	2,16
			Total	3,24

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.1.11.2	
Demolição de muros de betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,320	h	Sistema de cunha hidráulica <i>Darda</i>	1,00	0,32
0,320	h	Unidade hidráulica	3,50	1,12
0,320	h	Operador	9,00	2,88
			Total	4,32

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m²)	B.1.11.3	
Demolição de muros de betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,480	h	Sistema de cunha hidráulica <i>Darda</i>	1,00	0,48
0,480	h	Unidade hidráulica	3,50	1,68
0,480	h	Operador	9,00	4,32
			Total	6,48

B.2 Demolição de vigas e lajes

B.2.1 Demolição manual de lajes aligeiradas com vigotas pré-esforçadas

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.1.1	
Demolição manual de lajes de vigotas pré-esforçadas e abobadilhas cerâmicas com 0,20 m de espessura com ferramentas ligeiras				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,33	h	Servente	6,00	7,98
			Total	7,98

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.1.2	
Demolição manual de lajes de vigotas pré-esforçadas e abobadilhas cerâmicas com 0,30 m de espessura com ferramentas ligeiras				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
2,50	h	Servente	6,00	15,00
			Total	15,00

B.2.2 Demolição manual de lajes maciças de betão armado

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m²)	B.2.2.1	
Demolição manual de lajes maciças de betão armado com 0,20 m de espessura com ferramentas ligeiras				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
3,33	h	Servente	6,00	19,98
			Total	19,98

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.2.2	
Demolição manual de lajes maciças de betão armado com 0,30 m de espessura com ferramentas ligeiras				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
5,00	h	Servente	6,00	30,00
			Total	30,00

B.2.3 Demolição de vigas e lajes de betão armado com martelo pneumático

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m²)	B.2.3.1	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,667	h	Martelo pneumático	2,00	1,33
0,667	h	Compressor	10,00	6,67
0,667	h	Operador	9,00	6,00
			Total	14,01

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.3.2	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,000	h	Martelo pneumático	2,00	2,00
1,000	h	Compressor	10,00	10,00
1,000	h	Operador	9,00	9,00
			Total	21,00

B.2.4 Demolição de vigas e lajes de betão armado com martelo hidráulico

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.4.1	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,133	h	Martelo hidráulico	3,75	0,50
0,133	h	Unidade hidráulica	3,50	0,47
0,133	h	Operador	9,00	1,20
			Total	2,16

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.4.2	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,200	h	Martelo hidráulico	3,75	0,75
0,200	h	Unidade hidráulica	3,50	0,70
0,200	h	Operador	9,00	1,80
			Total	3,25

B.2.5 Demolição de vigas e lajes de betão armado com escavadora hidráulica
com tesoura de corte de betão ou martelo hidráulico

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.5.1	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,033	h	Escavadora hidráulica de 30 t com tesoura de corte de betão de 2,4 t	70,00	2,31
0,033	h	Operador	9,00	0,30
0,627	l	Gasóleo	1,04	0,65
			Total	3,26

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.5.2	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,050	h	Escavadora hidráulica de 30 t com tesoura de corte de betão de 2,4 t	70,00	3,50
0,050	h	Operador	9,00	0,45
0,950	l	Gasóleo	1,04	0,99
			Total	4,94

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.5.3	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,040	h	Escavadora hidráulica de 40 t com martelo hidráulico de 2,5 t	80,00	3,20
0,040	h	Operador	9,00	0,36
0,760	l	Gasóleo	1,04	0,79
			Total	0,79

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.5.4	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,060	h	Escavadora hidráulica de 40 t com tesoura de corte de betão de 2,5 t	80,00	4,80
0,060	h	Operador	9,00	0,54
1,140	l	Gasóleo	1,04	1,19
			Total	6,53

B.2.6 Demolição de lajes aligeiradas com vigotas pré-esforçadas

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.6.1	
Demolição de laje de vigotas pré-esforçadas e abobadilhas cerâmicas com 0,20 m de espessura com martelo pneumático				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,300	h	Martelo pneumático	2,00	0,60
0,300	h	Compressor	10,00	3,00
0,300	h	Operador	9,00	2,70
			Total	6,30

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.6.2	
Demolição de laje de vigotas pré-esforçadas e abobadilhas cerâmicas com 0,30 m de espessura com martelo pneumático				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,400	h	Martelo pneumático	2,00	0,80
0,400	h	Compressor	10,00	4,00
0,400	h	Operador	9,00	3,60
			Total	8,40

B.2.7 Demolição de vigas e lajes de betão armado com mini-escavadora com martelo hidráulico e tesoura de corte de betão

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.7.1	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,200	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com martelo hidráulico até 300 kg	35,00	7,00
0,200	h	Operador	9,00	1,80
0,700	l	Gasóleo	1,04	0,73
			Total	9,53

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.7.2	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,300	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com martelo hidráulico até 300 kg	35,00	10,50
0,300	h	Operador	9,00	2,70
1,050	l	Gasóleo	1,04	1,09
			Total	14,29

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.7.3	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,150	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com tesoura de corte de betão até 300 kg	35,00	5,25
0,150	h	Operador	9,00	1,35
0,525	l	Gasóleo	1,04	0,55
			Total	7,15

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.7.4	
Demolição de vigas e lajes em betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,250	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com tesoura de corte de betão até 300 kg	35,00	8,75
0,250	h	Operador	9,00	2,25
0,875	l	Gasóleo	1,04	0,91
			Total	11,91

B.2.8 Corte de vigas e lajes de betão armado com disco diamantado

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.8.1	
Corte de vigas e lajes de betão armado com 0,20 m de espessura com disco diamantado de pavimento (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,067	h	Equipamento de corte de pavimento com disco diamantado a diesel	30,00	2,01
0,067	h	Operador de corte diamantado	15,00	1,01
0,067	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	1,01
			Total	4,02

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.8.2	
Corte de vigas e lajes de betão armado com 0,30 m de espessura com disco diamantado de pavimento (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,100	h	Equipamento de corte de pavimento com disco diamantado a diesel	30,00	3,00
0,100	h	Operador de corte diamantado	15,00	1,50
0,100	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	1,50
			Total	6,00

B.2.9 Corte de vigas e lajes de betão armado com fio diamantado

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.9.1	
Corte de vigas e lajes de betão armado com 0,20 m de espessura com fio diamantado (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,200	h	Equipamento de corte de pavimento com fio diamantado	50,00	10,00
0,200	h	Operador de corte diamantado	15,00	3,00
0,200	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	3,00
			Total	16,00

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.9.2	
Corte de vigas e lajes de betão armado com 0,30 m de espessura com fio diamantado (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,300	h	Equipamento de corte de pavimento com fio diamantado	50,00	15,00
0,300	h	Operador de corte diamantado	15,00	4,50
0,300	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	4,50
			Total	24,00

B.2.10 Demolição de vigas e lajes de betão armado com mandíbulas de demolição

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.10.1	
Demolição de vigas e lajes de betão armado com 0,20 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,000	h	Mandíbulas de demolição	10,00	10,00
1,000	h	Unidade hidráulica	3,50	3,50
1,000	h	Operador	9,00	9,00
1,000	h	Operador	9,00	9,00
			Total	31,50

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.10.2	
Demolição de vigas e lajes de betão armado com 0,30 m de espessura				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,500	h	Mandíbulas de demolição	10,00	15,00
1,500	h	Unidade hidráulica	3,50	5,25
1,500	h	Operador	9,00	13,50
1,500	h	Operador	9,00	13,50
Nota: Equipamento limitado até espessuras de 0,3 m. Perde rendimento			Total	47,25

Nota: Equipamento limitado até espessuras de 0,3 m. Perde rendimento quanto maior for a espessura do elemento a demolir.

B.2.11 Demolição de pavimentos de betão armado com martelo pilão

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.11.1	
Demolição de laje em betão armado com 0,20 m de espessura com mini-escavadora <i>Bobcat</i> com martelo pilão				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,40	h	Mini-escavadora <i>Bobcat</i> com martelo pilão	30,00	12,00
0,40	h	Operador	9,00	3,60
0,14	l	Gasóleo	1,04	0,15
			Total	15.75

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.11.2	
Demolição de laje em betão armado com 0,30 m de espessura com mini-escavadora com martelo pilão				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,60	h	Mini-escavadora <i>Bobcat</i> com martelo pilão	30,00	18,00
0,60	h	Operador	9,00	5,40
0,21	l	Gasóleo	1,04	0,22
			Total	23,62

B.2.12 Demolição de lajes de betão armado com sistema de cunha hidráulica

Nota: A esta técnica terá que se acrescentar a perfuração realizada por caroteadora

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.12.1	
Demolição de laje em betão armado com 0,20 m de espessura com sistema de cunha hidráulica <i>Darda</i>				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,320	h	Sistema de cunha hidráulica <i>Darda</i>	1,00	0,32
0,320	h	Unidade hidráulica	3,50	1,12
0,320	h	Operador	9,00	2,88
			Total	4,32

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.2.12.2	
Demolição de laje em betão armado com 0,30 m de espessura com sistema de cunha hidráulica <i>Darda</i>				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,480	h	Sistema de cunha hidráulica <i>Darda</i>	1,00	0,48
0,480	h	Unidade hidráulica	3,50	1,68
0,480	h	Operador	9,00	4,32
			Total	6,48

B.3 Demolição de Pilares

B.3.1 Demolição manual de pilares de betão armado com ferramentas ligeiras

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m³)		B.3.1.1	
Demolição manual de pilares de betão armado (1 m³ de betão armado) com ferramentas ligeiras					
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)		
			Unitários	Totais	
16,600	h	Servente	6,00	99,60	
			Total	99,60	

B.3.2 Demolição de pilares de betão armado com martelo pneumático

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m³)	B.3.2.1	
Demolição de pilares de betão armado (1 m³ de betão armado)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
3,333	h	Martelo pneumático	2,00	6,67
3,333	h	Compressor	10,00	33,33
3,333	h	Operador	9,00	30,00
			Total	69,99

B.3.3 Demolição de pilares de betão armado com martelo hidráulico

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m³)		B.3.3.1	
Demolição de pilares de betão armado (1 m³ de betão armado)					
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)		
			Unitários	Totais	
0,667	h	Martelo hidráulico	3,75	2,50	
0,667	h	Unidade hidráulica	3,50	2,33	
0,667	h	Operador	9,00	6,00	
			Total	10,84	

B.3.4 Demolição de pilares de betão armado com escavadora hidráulica com tesoura de corte de betão ou martelo hidráulico

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m³)	B.3.4.1	
Demolição de pilares de betão armado (1 m³ de betão armado)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,170	h	Escavadora hidráulica de 30 t com tesoura de corte de betão 2,5 t	70,00	11,90
0,170	h	Operador	9,00	1,53
3,230	l	Gasóleo	1,04	3,36
			Total	16,79

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m³)	B.3.4.2	
Demolição de pilares de betão armado (1 m³ de betão armado)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,200	h	Escavadora hidráulica de 40 t com martelo hidráulico de 2,5 t	80,00	16,00
0,200	h	Operador	9,00	1,80
3,800	l	Gasóleo	1,04	3,95
			Total	21,75

B.3.5 Demolição de pilares de betão armado com mini-escavadora com martelo hidráulico ou tesoura de corte de betão

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m³)	B.3.5.1	
Demolição de pilares de betão armado (1 m³ de betão armado)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,000	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com martelo hidráulico até 300 kg	35,00	35,00
1,000	h	Operador	9,00	9,00
3,500	l	Gasóleo	1,04	3,64
			Total	47,64

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m³)	B.3.5.2	
Demolição de pilares de betão armado (1 m³ de betão armado)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,670	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com tesoura de corte de betão até 300 kg	35,00	23,45
0,670	h	Operador	9,00	6,03
2,345	l	Gasóleo	1,04	2,44
Nota: A demolição de pilares com recurso a tesoura de demolição, implica um			Total	31,92

Nota: A demolição de pilares com recurso a tesoura de demolição, implica um limite de espessura devido à capacidade máxima de abertura da tesoura. Assim, é necessário ter em atenção este aspecto da escolha do equipamento utilizado para demolição de pilares.

B.3.6 Corte de pilares de betão armado com disco diamantado

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.3.6.1	
Corte de secção de pilares de betão armado (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,500	h	Equipamento de corte de parede com disco diamantado	40,00	20,00
0,500	h	Unidade hidráulica	3,50	1,75
0,500	h	Operador de corte diamantado	15,00	7,50
0,500	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	7,50
			Total	36,75

B.3.7 Corte de pilares de betão armado com fio diamantado

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)	B.3.7.1	
Corte de secção de pilares de betão armado (área de corte)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,000	h	Equipamento de corte com fio diamantado	50,00	50,00
1,000	h	Unidade hidráulica	3,50	3,50
1,000	h	Operador de corte diamantado	15,00	15,00
1,000	h	Ajudante de corte diamantado	15,00	15,00
			Total	83,50

B.4 Demolição de Maciços de Fundação

B.4.1 Demolição de maciços de fundação com martelo pneumático

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m³)		B.4.1.1	
Demolição de maços de fundação (1 m³)					
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)		
			Unitários	Totais	
3,33	h	Martelo pneumático	2,00	6,67	
3,33	h	Compressor	10,00	33,33	
3,33	l	Operador	9,00	30,00	
			Total	69,99	

B.4.2 Demolição de maciços de fundação com martelo hidráulico

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m³)	B.4.2.1	
Demolição de maços de fundação (1 m³)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,67	h	Martelo hidráulico	3,75	2,50
0,67	h	Unidade hidráulica	3,50	2,33
0,67	l	Operador	9,00	6,00
			Total	10,84

B.4.3 Demolição de maciços de fundação com mini-escavadora hidráulica com martelo hidráulico

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ³)	B.4.3.1	
Demolição de maços de fundação (1 m ³)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,000	h	Mini-escavadora hidráulica de 2,5 t com martelo hidráulico até 300 kg	35,00	35,00
1,000	h	Operador	9,00	9,00
3,500	l	Gasóleo	1,04	3,64
			Total	47,64

B.4.4 Demolição de maciços de fundação com escavadora hidráulica com martelo hidráulico

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m³)	B.4.4.1	
Demolição de maços de fundação (1 m³)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,200	h	Escavadora hidráulica de 40 t com martelo hidráulico de 2,5 t	80,00	16,00
0,200	h	Operador	9,00	1,80
3,800	l	Gasóleo	1,04	3,95
			Total	21,75

B.4.5 Demolição de maciços de fundação com sistema de cunha hidráulica

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m³)	B.4.5.1	
Demolição de maços de fundação (1 m³) com recurso ao sistema de cunhas hidráulicas <i>Darda</i>				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
1,600	h	Sistema de cunha hidráulica <i>Darda</i>	1,00	1,60
1,600	h	Unidade hidráulica	3,50	5,60
1,600	h	Operador	9,00	14,40
			Total	21,60

B.5 Corte de Elementos Metálicos

B.5.1 Corte de elementos metálicos com maçarico oxicorte

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = m ²)		B.5.1.1	
Corte de elementos metálicos com maçarico oxicorte (área de corte)					
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)		
			Unitários	Totais	
2,000	h	Maçarico Oxicorte (oxigénio + acetileno)	8,00	16,00	
2,000	h	Operador	9,00	18,00	
			Total	34,00	

B.6 Transporte de Resíduos de Demolição

B.6.1 Transporte de resíduos com camião de 3 eixos (26 ton)

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = km)	B.6.1.1	
Transporte de resíduos (alvenaria tijolo) de demolição do local de obra. Camião de 3 eixos (26 ton) com capacidade de carga até 15 ton e volume de carga até 16 m³ (velocidade média - 50 km/h)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,020	h	Camião de transporte de materiais de 3 eixos (26 ton)	30,00	0,60
0,020	h	Condutor de pesados	9,00	0,18
0,200	l	Gasóleo	1,04	0,21
Nota: Peso específico alvenaria tijolo - 1 475 ton/m ³ Com um reboque de 16			Total	0,99

Nota: Peso específico alvenaria tijolo - 1,475 ton/m³. Com um reboque de 16 m³, consegue-se carregar 13,22 m³ de resíduos de alvenaria de tijolo, considerando um coeficiente de empolamento de 0,3.

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = km)	B.6.1.2	
Transporte de resíduos (betão) de demolição do local de obra. Camião de 3 eixos (26 ton) com capacidade de carga até 15 ton e volume de carga até 16 m³ (velocidade média - 50 km/h)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,020	h	Camião de transporte de materiais de 3 eixos (26 ton)	30,00	0,60
0,020	h	Condutor de pesados	9,00	0,18
0,200	l	Gasóleo	1,04	0,21
Nota: Peso específico betão armado - 2.4525 ton/m³. Com um reboque de 16			Total	0,99

Nota: Peso específico betão armado - 2,4525 ton/m³. Com um reboque de 16 m³, consegue-se carregar 7,95 m³ de resíduos de betão, considerando um coeficiente de empolamento de 0,3.

B.6.2 Transporte de resíduos com camião de 4 eixos (32 ton)

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = km)	B.6.2.1	
Transporte de resíduos (alvenaria tijolo) de demolição do local de obra. Camião de 4 eixos (32 ton) com capacidade de carga até 20 ton e volume de carga até 16 m³ (velocidade média - 50 km/h)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,020	h	Camião de transporte de materiais de 4 eixos (32 ton)	35,00	0,70
0,020	h	Condutor de pesados	9,00	0,18
0,300	l	Gasóleo	1,04	0,31
Nota: Peso específico alvenaria tijolo - 1.475 ton/m ³ . Com um reboque de 16			Total	1,19

Nota: Peso específico alvenaria tijolo - 1,475 ton/m³. Com um reboque de 16 m³, consegue-se carregar os 16 m³ de resíduos de alvenaria de tijolo, considerando um coeficiente de empolamento de 0,3.

Data: Fev/2009		DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO (Unidade = km)	B.6.2.2	
Transporte de resíduos (betão) de demolição do local de obra. Camião de 4 eixos (32 ton) com capacidade de carga até 20 ton e volume de carga até 16 m³ (velocidade média - 50 km/h)				
Rendimento	Unidade	Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
0,020	h	Camião de transporte de materiais de 4 eixos (32 ton)	35,00	0,70
0,020	h	Condutor de pesados	9,00	0,18
0,300	l	Gasóleo	1,04	0,31
Nota: <i>Peso específico betão armado - 2 4525 ton/m³. Com um reboque de</i>			Total	1,19

Nota: Peso específico betão armado - 2,4525 ton/m³. Com um reboque de 16 m³, consegue-se carregar 10,6 m³ de resíduos de betão, considerando um coeficiente de empolamento de 0,3.